

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4回会合

1. 日時

令和元年11月22日（金）10：00～12：22

2. 場所

原子力規制委員会 13階会議室B・C

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 長官官房 技術基盤グループ長

遠山 眞 長官官房 技術基盤グループ 技術基盤課長

佐々木 晴子 長官官房 技術基盤グループ 技術基盤課 企画調整官

北條 智博 長官官房 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 4-1   | 「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 第四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 (JEAC4206)                                      |
| 資料 4-2   | JEAC4206-2016、JEAC4216-2015における破壊靱性評価の考え方   |
| 資料 4-3   | 「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等の技術評価に関する検討チーム 第四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 (JEAC4216)                                      |
| 資料 4-4   | 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に対する技術評価書 (案)   |
| 参考資料 4-1 | 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 第四回会合における日本電気協会への説明依頼事項 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                             |
| 参考資料 4-2 | 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等の技術評価に関する検討チーム 第四回会合における日本電気協会への説明依頼事項 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」に関する追加質問 |

## 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、第4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、事務局から配付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す。

本日の資料は議事次第にございますように、資料4-1～4-4及び参考資料4-1～4-2となっております。それ以外に皆様のお机の上に1人1冊とはなっていませんけれども、本日の技術評価に関係する規格がセットで置いてございます。また、ブルーのファイルにとじられているのは、前回までの資料ですとか関係する文献となっておりますので、適宜御参照ください。

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御質問とかコメント等ございますでしょうか。いかがでしょうか。よろしゅうございますでしょうか。

それでは、第3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。PTS評価における破壊靱性評価遷移曲線に関する追加質問に対する回答を、資料4-1及び4-2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） 構造分科会幹事、山田でございます。

それでは早速、資料4-1～4-3に基づきまして、説明をさせていただきます。よろしくお願いいたします。

○平野主査（日本電気協会） 電気協会の平野です。

資料4-1で、まずPTSに関する説明依頼事項の説明を行います。

1ページ目は、説明依頼事項の内容なので、割愛します。

ページをめくっていただいて、最初の回答は次の資料の4-2になります。この質問は書

いてありますけど、前回第3回会合で議論になった今回の規格の考え方というか、フィロソフィのところを改めて考え直してまとめてきたので、説明したいと思います。

それでは資料4-2のほうで説明いたします。

表紙をめくっていただいて、2ページ目ですけど、2007年版というのは何度も説明しているように、実際の破壊靱性試験をした実測値の下限を包絡するように評価線図を決めていますということで、この考え方、帰納的な推定だと考えていまして、この方法はいいんですけど、意見聴取会でもあったとおり、評価の精度とか信頼性向上が課題になるということから、今回3ページ目に行っていただいて、2016年版のほうで、「マスターカーブ法」というものが提唱されているので、それを用いてもうちょっと演繹的な推定に変更したほうがいいのではないかということで、破壊靱性のばらつきを考えた評価法ということで、2016年版の評価線図を決めてございます。

4ページ目がすごく一般的な考え方をまとめたものですけども、いろいろなものが新しいものの評価しようというときに、データを評価するときに、まずはデータ群の傾向から帰納的なアプローチが用いられるということで、それは一応仮説検証を経て、だんだんと一般化されて、だんだんと演繹的な現象を推定できるようになるということで、演繹的な手法を用いるときに、より帰納的な方法よりは、データの無い未知の領域の推定にも役立つことができるということで、漫画で描いていますけど、これは重力みたいな話ですけど、帰納的な話から仮説検証した一般的法則から、いろいろなものへの応用が可能になってくるということで考えております。

それを今回の破壊靱性評価ということで考えますと5ページ目で、5ページ目に書いてある左側の絵は、帰納的な推定ということで、データの下限を取るという方法をとって、2007年版と考えてみております。今回、破壊靱性のばらつきに対する一般的な法則として、最弱リンクモデルに基づくマスターカーブ法というものを取り入れるということで、演繹的な推定になっているということで右側になります。若干表のほうでまとめていますが、いろいろ繰り返しになるので、クライテリアとしては下限なので、下限から演繹法の2016年版については、許容限界というものがどのレベルであるかということで決まってくるということになります。

特徴ですけど、帰納的な方法については実績に裏づけられた下限値であるということで、定量的な手法はないということと、データ点の積み上がっていくと信頼性が高くなっていきますけども、少ない場合には各変更になってくるので、そういう意味でデータセンスに

対する依存性が大きいということです。今度の演繹的な方法は、一応定量的に評価できて、許容限界の定義が必要で、データに対してロバスト性が上がっているというふうに考えております。

6ページ目行っていただいて、先ほどと同じですけども、破損の裕度への定量的な評価ができて、データに対してロバストな手法ということで、決定論による破壊靱性評価は変わらないんですけども、その過程において帰納的な方法か演繹的な方法かというところで、2007年版と2016年版の違いがあるというふうに考えております。将来的には確率論的な破壊強化体系というのは望ましいんですけども、そこまでではなくということで、下の表に簡単に書いていますが、2007年版は帰納的な推定の決定論ということであるのに対して、今の2016年版は演繹的な推定の決定論ということで考えています。確率論については、JEACが発行されていますが、今のところ決定論の評価と比べると許容の問題があるので、将来的な課題というふうに考えてございます。

7ページ目は、今回の改定の内容ですので、前回、第1回で説明してございますので、飛ばします。

マスターカーブ法、第1回の会合で概要説明していますが、ここで改めて若干説明を加えたもので説明したいと思います。9ページが、これは前に出たものですけど、破壊靱性のばらつきは最弱リンクモデルでワイブル分布に従うということが前提になっているということで、これ前回御説明いたしました。

10ページ目が、じゃあマスターカーブ法はどういうものだろうということで、左下にある式であるように、ワイブル分布のところのAとBとCというところのうち、位置パラメータと形状パラメータを固定することでマスターカーブとして成り立っているということです。それによって寸法依存性を補正できるということになっていて、破壊靱性は温度依存性があるので、その温度依存性についてはAのところの係数がどういふふうになるかということで、そういう関数系で適正にしていくということになろうかと思えます。

イメージ図が10ページ目にありますけども、Bという位置パラメータが $K_{min}$ と言われているものに相当してまして、Cという形状パラメータが分布を示すんですけど、これが今4と言われているやつになります。Aというのが赤い温度に沿って上がっていくカーブで、これが温度の関数ということになります。

11ページ目が、そのうちの形状パラメータについてですけど、形状パラメータを決めるときに最弱リンクモデルによって微小体積当たりの破損確率を、その微小体積内では破壊

起点の分布は均一として、亀裂前縁からの前方への応力場のHRR特異場を考えて、それは板厚方向へは一様として、式を展開すると、下の真ん中にあるような式が得られて、それがワイブル指数と言われている形状パラメータの4というのが算出されるということです。ある仮定に基づいていますけど、この最弱リンクモデルとHRR特異場を用いて算出すると、4というのが得られるということになります。

12ページ目ですけども、位置パラメータですけど、これは代表的なものの図を載せていますけど、これは圧力容器鋼というわけではありませんが、も入っています。いろんな材質のものをプロットして決めてあげると、実験の事実の積み上げによって、これは20だろうということで、位置パラメータのところは20というふうなことで、実験事実の積み上げで決定しているということになります。この20というのも傾きも不確定性が大きいので、20を決めるためには多くの試験片が必要なんですけども、いろんな材料でいろいろな実験事実を積み上げて、20というように決めていくということになります。

13ページですけど、次は温度の関数ですけども、スケールパラメータも同じで、これが材質によって違うんじゃないかという意見もいろいろありますが、いろんな材料についての実験事実を積み上げて、この温度の関数ではスケールパラメータは0.019で固定でいいということで、マスターカーブ法のほうでは決められているということになります。

14ページ目ですけども、今の説明をまとめると、基本的には最弱リンクと熱活性化過程の考え方で、それがワイブル分布に乗るということで考えられていて、ワイブル分布のうち形状パラメータはある仮定に基づく理論的な解で4というのが決められていて、位置パラメータの $K_{min}$ は実験事実の積み上げで20というふうに決められていて、スケールパラメータについては、そのスケールパラメータがあるというのは理論的なものなんですけども、係数そのものについては実験事実に基づいて0.019というふうに決められているということです。破壊靱性の試験片の寸法補正については、形状パラメータで補正するので、理論的には補正しているということになろうかと思えます。

15ページ以降が今回の評価対象のPTS評価線図に対することですが、16ページは前に説明していますが、今回の改定は改めてですけど、マスターカーブ法の信頼下限を採用して、指標としてはシャルピー遷移温度の $T_{r30}$ を用いたものと、マスターカーブ法で求まる参照温度 $T_0$ を用いる場合ということで規定しているということになります。

17ページも今までの説明とダブりますけども、一覧表にまとめているので御覧ください。2007年版のほうは監視試験データ使っていますけども、個々のプラントのデータを使って

いる。2016年版は国内のPWRのデータを全部使っているということで、全体傾向を評価しているということになります。

これは今まであまり説明していなかったんですけど、使うデータベースとしては2007年版のほうは、0°C以下のデータではなく、0°C以上のデータを対象として下限にしているということで、破壊靱性が物すごくいいようなものに対しては下限となるデータセンスが少ないという場合も生じますけど、通常の場合は多数のデータが0°C以上になるので、一部のプラントということになります。

一方、2016年版は下部棚のところで、 $T_0-50^{\circ}\text{C}$ というデータを除外しているということで、低温側のデータを除くという、下部棚のデータを除くという考え方は同じですけど、絶対温度で決めているのと、 $T_0-50^{\circ}\text{C}$ で決めているというのが差があります。2007年版のほうの拘束の観点はないという、これはあまり関係ないですけど、 $K_{Jc(\text{limit})}$ というのを2016年版は考えていると。2007年版のほうは個々の照射前後の破壊靱性を全部使用して、照射前のやつは脆化させて、脆化しているやつは脆化の照射量の調整をするということで、破壊靱性データを使用しています。2016年版の場合には、高照射領域のデータに限定して、 $\Delta T_t$ 等を求めるときには、高照射領域のデータに限定して決めているということになります。

18ページ目ですけども、これは何度も言っているんですけど、2007年版は下限包絡で、2016年版はマスターカーブの5%信頼下限です。パラメータとしてシャルピー遷移温度も使っているんで、それに対しては $\Delta T_t$ という係数を決めているということになります。あとはこれ試験片の寸法補正ですけど、板厚補正ですけど、2007年版は指定がないということで、2016年版はマスターカーブ法を使っているんで、1インチのものに換算しているということになります。

脆化に対するマージンですけど、これはこれまで、これも前回説明していなかったもので、次の2の回答のほうでも関係しますが、2007年版のときには予測誤差の標準偏差の2倍ということで、具体的には18°Cを加えているということになります。2016年版のときには予測誤差と破壊靱性のばらつきを考慮してということで、これは2回前、第2回のときに説明していますが、3°Cという値を設定して、それを加えているということになります。温度依存性については国プロのときの係数が0.016弱ぐらいだったのが0.19となっていて、今関係しているという $T_{70}$ 付近の温度依存性はほとんど同じになっているということで、係数違いますけど、 $T_{70}$ 、 $T_{60}$ 、 $T_{80}$ の辺りではカーブとしてほぼ同等になっているというこ

とでございます。

このロバスト性ということで、19ページに新たな図を準備しているんですけども、これは2007年版のときの方法で、監視試験までにやられた破壊靱性データの下限包絡ということなので、一番至近に、今取れている全部のデータでやっているのが至近ですけど、至近の監視試験というのを $T_{70}$ ということを目安にして、じゃあその前の監視試験の回数、その前の監視試験の回数、あるいは初期、まだ監視試験をやる前のということ、監視試験をやる前のところを0として、第1回が2、3、4となっていて、至近との差ですね。 $T_{70}$ の差というのを取ったものです。

これを見ると、 $0^{\circ}\text{C}$ というのは変化しないので、ロバスト性が高いということになりますけど、多くのプラントで一番大きいのは $-70$ ぐらいからだんだん上がってきているということで、データが取れるたびにカーブが右側にシフトして行って、今になっているということになっているということがわかると思います。ということで、2007年版のほうのロバスト性というのは、ちょっとなかったのかなというふうに思います。

20ページですけど、それをまとめて今までの説明で、下限包絡として2007年版よりもマスターカーブ法で使ったほうが、予測精度信頼性が高い評価になっていると考えております。あと本質的に、破壊靱性が下回る可能性というのがあるので、2007年版の遷移を使うと、また新しいデータが出てくると、また変わるという可能性も出てくるので、その対象データのデータ数に依存せずに、一定の保守性を持たせたロバスト性の高い評価を使うということであれば、2016年版のほうがいいというふうに考えてございます。

前回までにいろいろ議論になっていた、非保守的となる5プラントについても、全体的に保守的な傾向になっているので、その5プラントについても破壊靱性データを概ねカバーする（大きく外れていない）ということで、(2)のほうでこれは今後説明いたします。結論としてPTS評価全体として十分な保守性を有しているというものを判断したということで、ただし、今後もいろいろデータ増えていくので、精度向上には今後も努めていこうと考えています。

21ページ以降は確率論ということで詳細は説明しませんが、24ページのところが結果になりますけども、2007年版も十分な保守性を有しているということと、あと2016年版も、とある代表的なプラントの例なので、全部というわけではありませんが、破壊確率で言うと米国のスクリーニング基準を下回っているということで、 $10^{-6}$ から2桁程度低い以下の程度になっているので、この評価で行けば、安全性というか保守性としては十分ではない



かなというふうに考えております。

25は取りまとめですが、お読み取りください。

20ページ以降、参考でつけていますけど、27ページのほうは今まで欧米においてどういふような活用の歴史があるかということをもとめていますので御覧ください。エンドース等にはなっていませんが、規格活動も続けられていますし、いろんなプラントに対しては適用事例があるということでございます。

28ページは割愛します。

29ページのほうはもう第1回、出ていますけども、将来的にマスターカーブ法をどうするかということで、圧力容器の実力値を評価できる方法なので、非常に有効ではないかということで、そういうものを活用していきたいということと、今回入れたMini-C(T)を使うと、監視試験の残り材等を使っていろんな試験データが拡充できるので、非常に有効ではないかと考えているということでございます。

本資料は以上です。

続けて資料4-1に戻っていただいて、3ページ以降、3ページが(2)のグラフの話になるので、廣田のほうからお願いします。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

資料4-1の3ページで(2)から続けて説明します。

(2)が資料3-1の図1-1について、個々のプラントのデータ点の決定に用いた破壊靱性試験の試験片形状、試験数、試験温度範囲などがわかるように図1-2のようなプロットを示して説明してくださいということです。

まず、4ページ見ていただきますと、これ前回もお示ししました2007年版と2016年版の破壊靱性曲線の補正を比較したものでございます。前回はこのグラフの左上にありますA・B・C・D・Eという5プラントについては、2016年版のほう为非保守的だということで、この5プラントについて、破壊靱性データと破壊靱性遷移曲線との関係を示していたんですけども、今回はほかのプラント、国内PWRプラント全プラントについて、グラフで5ページ以降に示すようにしております。

また、前は破壊靱性データといたしまして、2007年版で評価したプロットということを示しておりましたけれども、板厚の補正はなしという扱いにしておりましたが、2016年版は1T換算ありで評価をしますので、5ページ以降のグラフでは左側に2007年版に基づく評価ということで、1T換算なしのグラフ、右側は2016年版に基づく評価ということで、

1T換算した後の破壊靱性のプロットを示しています。一番左側の列に試験片の種類が書いてございますけれども、例えばプラントA・Bですと、1/2T-C(T)試験片が使われていて、1T試験片よりも小さい試験片ということになりますので、1T換算しますと若干 $K_{Jc}$ が低く評価されるということで、左と右を比べていただきますと、左の黒のプロットに対して、右側のグラフではちょっと低めにプロットされているということがわかるかなというふうに思います。

また、脆化予測法に対するマージンについては、先ほど説明ありましたが、2007年版では脆化予測法の予測誤差の標準偏差の2倍、18°C、あるいは22°Cというのを、保守的に高温側にシフトさせて評価するというので、前回マージンを考慮したプロットを示しておりましたが、2016年版では3°Cというマージンを考慮するというので、あと保守的なプロットになってしまいましたので、今回5ページ以降に示しております図については、脆化予測法のマージンなしの状態を示しています。

そのかわりに破壊靱性遷移曲線につきましては、黒が2007年版のカーブ、赤が2016年版のカーブですが、それぞれマージンを考慮しないカーブにつきましては、点線で示してございます。それから、2007年版に基づく評価では、先ほど説明ありましたが、原子炉圧力容器の温度が0°C未満となることはないということで、0°C以上の温度範囲の破壊靱性データを下限包絡するというようになっておりますので、対象外となります。0°C未満のデータにつきましては、それがわかるように白のプロットで左側の図では示しているというのでございます。

縦にプラントA～Xまで24プラントありますが、全体的な傾向といたしましては、赤のカーブであっても黒のカーブであっても、ある程度包絡しているかなという感じになっております。またA～Eのプラントにつきましては、2016年版のほうが適合していくということになりましたので、黒のカーブが赤のカーブよりも右側にあると。一方で、プラントF以降は、赤のカーブが高温側に来ている。2016年版のほうが保守的な評価になっているという傾向になってございます。

また、7ページのプラントEを見ていただきますと、これが一番はっきりわかるような図なんですけれども、7ページのプラントFを見ていただきますと、一番は0°Cの足切りというのが効いていると思うんですけれども、2007年版の下限包絡カーブですと、破壊靱性のプロットに対しまして、包絡性があまりよくないというのがわかるかなというふうに思います。それに対しまして赤のカーブは、全体的に見てもそれなりの包絡性を有していて、

一定の保守性が確保できているだろうというふうに判断してございます。

続きまして、17ページの(3)ですけれども、照射脆化した国内材にマスターカーブ法が適用できるかに関し、資料3-1の図2-2からワイブル分布の形状母数が4であるとしていることの妥当性について、統計的に評価した結果を示してくださいということです。

前回は照射後の破壊靱性データの値で、マスターカーブの $T_0$ が設定可能な鍛鋼品、11材料につきまして、ワイブル指数、形状母数というのを示しておりましたけれども、今回18ページ見ていただきますと、同じ鍛鋼品の11材料ですけれども、この11材料のワイブルロットを上図3-1で示してございます。

このグラフを見ていただきますと、マスターカーブ法に基づく形状母数4の直線に沿って、11材料のワイブルプロットが分布しているということで、ある程度ばらつきはあるんですけれども、形状母数を4とすることで、妥当ではないかというふうに考えてございます。

また、この11材料を、全体でワイブルプロットを示したのが、18ページの下図のグラフでございまして、マスターカーブ法に基づく形状母数4の直線、黒の直線に対しまして、このワイブルプロットの近似直線が赤の直線ということで、黒の直線と赤の直線が非常に近接してございまして、マスターカーブの形状母数4で十分ではないかと。このグラフの中に近似直線の式を書いてございしますが、形状母数マスターカーブ4ですけれども、この近似直線ですと4.496ということと、あとは相関係数の2乗が0.988ということで、かなり相関係数は高いというような結果となっております。マスターカーブでは4ですけれども、約4.5ということで、ばらつきはどちらかという小さめなデータであるということが言えるかなというふうに考えてございます。

最後に、19ページの(4)ですけれども、図3-1の横軸の $K_{Jc(0.05)}$ を $K_0$ とした場合の図を示し、鋼種ごとにワイブル分布の形状母数を4、位置母数 $K_{min}$ を $20\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ としていることの妥当性について評価した内容を説明してくださいということです。

(3)はマスターカーブの $T_0$ が設定できる鍛鋼品だけを対象としておりますけれども、(4)ではそれ以外の圧延材とか溶接金属、マスターカーブの $T_0$ が設定できないデータも含めてプロットしたのになってございまして、20ページと21ページ、鋼種ごとに示しています。前回は $T_{r30}$ に基づく破壊靱性遷移曲線の5%カーブを使って規格化しておりましたけれども、今回は $K_0$ で規格化して示しておりますが、前回の5%信頼下限のカーブで規格化したのとはほとんど同じ傾向になってございまして、例えば20ページの上図の圧延材ですと、若干変曲点

のようなものが見られるというのがあります。

ただ、赤の直線がマスターカーブ法のワイブル分布を示しておりまして、全体的には傾きはほぼ同等で、しかも特に鍛鋼品とか溶接金属は、このグラフの下側にプロットが位置しておりますので、保守的に設定されていると。また、信頼下限のカーブを5%下回る領域、青のハッチングをしているところですけども、そこについては5%を下回る累積破損確率が5%以下となっておりますので、PTS評価で使うのは5%信頼下限のカーブしか使いませんので、5%信頼下限を使うPTS評価を行う上では、若干変曲点があったりしますが、問題ないというふうに考えてございます。

資料4-1については、以上でございます。

続けて、資料4-3も説明するというところでよろしいですか。

○山中委員 どうしましょう。ここで切りましょうか。

それでは、ただいま御説明いただいた資料について、質問、コメント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。

まず最初に、考え方についての資料についてですけども、基本的に新しい2016年版になりますと、ロバスト性があるよということを、非常に丁寧に御説明いただいているんですけども、その中で幾つか細かい点も含めて質問したいことがありますので。一つ目が17ページの表の中なんですけども、3段目ですか。2007年版は拘束の観点ではスクリーニングはないということで、2016年版では $K_{Jc(limit)}$ を超えるデータを「除外」とあるんですけども、通常その右に理由・根拠を書いてありますけども、マスターカーブ法では超えるデータは $K_{Jc(limit)}$ に置きかえるということですけども、「除外」という意味はどういう意味かなと思ひまして。まず、一つ目です。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

この17ページでは $T_{r30}$ に基づく破壊靱性遷移曲線の説明をしまして、 $T_{r30}$ のカーブは $T_{r30} + \Delta T_t$ という、 $\Delta T_t$ の補正係数を加算して評価します。そのときの $\Delta T_t$ を設定するときに、保守的な取り扱いをするということで、高照射領域だけのデータを使ったり、そういうことをしまして、その中で $K_{Jc(limit)}$ 、比較的破壊靱性の高いデータ、それは除いて最尤推定法で $\Delta T_t$ という値を決めた。だから、 $\Delta T_t$ を決めるデータベースの中で破壊靱性の高いデータ、 $K_{Jc(limit)}$ を超えるデータは除外した低めのデータを使って最尤推定法で $\Delta T_t$ を求めたということです。

○大畑教授 ありがとうございます。

大阪大学の大畑ですけれども、試験本数にはカウントするけども、という意味ではないということですか。もう完全に除外ということですか。

○廣田副主査（日本電気協会） もう完全に除外です。

○大畑教授 わかりました。

同じく大阪大学の大畑ですけど、続いて24ページ目で、ベンチマークの評価が記されているんですけども、基本的に2016年版というのも、米国の基準と同等のものだという理解だったんですけども、その基準がさらに保守的に設定されているというのはどういう意味で保守的になっているのかなど。評価手法等は、基本的には同じだというふうに思っていたんですけども。どういうところがさらに保守的に設定されているというふうに理解したらよろしいのでしょうか。基準が保守的ということ。

○廣田副主査（日本電気協会） そうです。基準が保守的です。

ここ、説明飛ばしたんですけども、できるだけ簡単に説明しますけれども、まずアメリカはPFM、確率論的破壊力学に基づいたスクリーニング基準を設定しています。そのスクリーニング基準の設定の根拠としては、24ページのグラフで書いてあります米国のスクリーニング基準、 $10^{-6}$ の破損、亀裂貫通頻度というのを基準にして、スクリーニング基準が決められているということです。

今回評価しているのは、23ページを見ていただきますと、JEAC4206の2007年版と2016年版に従いまして、ある国内PWR代表プラントを対象に、どこまでの照射量までであればこの4206に従って供用できるかという、まず照射量を算出します。その照射量のときに確率論的破壊力学で破損頻度がどれぐらいかというのを求めた結果が24ページのグラフと。だから4206で、どこまでの照射量までしか供用できないというふうに言っているんですけども、その照射量というのは確率論的破損頻度でいうと、十分低いレベルですよということが24ページでわかるということなんですけども。

○大畑教授 わかりました。ありがとうございました。

ですから、評価した結果が、現状の米国のスクリーニング基準より十分低かったよということを言っているだけなんです。

○廣田副主査（日本電気協会） はい、そうです。

○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、いかがですか。

○沖田准教授 東京大学の沖田でございます。

まず、細かいことから質問させていただきたいんですが、資料4-1の5ページから示されている、プラントごとの2007年版と2016年版の比較について、まず細かいことを教えてください。

2007年版では0℃未満を考慮していないということだったんですが、よく目を凝らすと0℃未満のデータも入っているときと入っていない場合があるんです。特にプラントMに関しましては、同じ温度で入っているデータと入っていないデータがあるんですが、これはどのような区別になっているのでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） わかりやすく説明していなかったかもしれないんですけども、ここで表示されているプロットというのは、脆化予測によるマージン18℃、あるいは22℃というのを考慮しないプロットになっています。2007年版の評価をする際には、このプロットからさらに18℃、あるいは22℃、高温側にシフトさせて下限包絡させるということになっていますので、そういう意味で黒のプロットが若干0℃よりも低めに出ているんですけど、実際評価するときにはこの黒のプロットを18℃、ほとんどのプロットで18℃なんですけども、18℃右側にシフトさせて0℃以上かどうかというのを見て包絡させるということになります。

○沖田准教授 東京大学の沖田でございます。

プラントMに関しましても、シフトさせる前に同じ温度でも黒の点と白の点がまじっているように見えるんですが、これはどうでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

ちょっと確認します。微妙なところでそれができているのかもしれませんが、すみません、確認します。

○沖田准教授 ありがとうございます。東京大学の沖田でございます。

それから今回、2007年版から2016年版において、帰納的な方法から演繹的な推定に変わって予測、破壊靱性曲線を予測するということですが、演繹的な推定の中で5%という数値がひとり歩きしている可能性もありまして、これが例えばほかのパーセントではなく、あえて5%にクライテリアを引いたところの根拠はどうなっていますでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 詳細はこの資料の中では入っておりませんが、パワーポイントの18ページですけれども、一番上の行で「5%信頼下限」と書いてあります

けども、理由根拠の二つ目のポチを見ていただくと、5%信頼下限を使う根拠としては、ASME  $K_{Ic}$ カーブと同等の評価ができるという文献がございまして、それに基づくということと、もう一つは海外で5%信頼下限が使われようとしているというようなところでございます。

例えば、このパワーポイントの資料の27ページ、見ていただきますと、27ページ、欧米におけるマスターカーブ法の活用の歴史ということで書いていますが、一番上の列で Codes & Standards というふうにありますけども、真ん中辺り、2005年～2010年辺りに ASME の Code Case N-830 というのがありまして、ここでは括弧の中に書いていますけれども、5%マスターカーブというのが使われようとしていまして、日本、5%、これだけではなくて、ASME のほうでも5%カーブが使われようとしているということです。

○山中委員 すみません。その根拠はないんですか。海外と一緒にというのはよくわかるんですけど、5%を海外で使われた根拠というのはなんですか。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本でございます。

今、廣田からの説明の前半にあったんですが、まず米国ではやはり以前より使われてきた ASME  $K_{Ic}$ カーブと同等の評価が行えるかどうかということ、大きく議論したようです。そこで5%という数字が選ばれたということでございます。

○平野主査（日本電気協会） 電気協会の平野です。

前回の資料2-1という、第2回の資料の19ページ目なんですけど、探しにくいんですけど、後ろからどのくらいというんですか、5mmか。パワーポイントの資料です。第2回の資料2-1の添付の19ページにありますので、それを今、口頭で説明したんですけども。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

ページ、みんな開けたと思うので、説明してください。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

19ページですけれども、まず一つ目のポチですけれども、PTS事象より発生頻度の高い供用状態A及びBを含めた設計段階の評価、並びに維持規格等、非破壊検査等で検出された結果に対する評価、それから圧力温度制限などで国内だけではなく、海外でも広く ASME  $K_{Ic}$ カーブが使用されていると、一番一般的に使われているということです。

海外ではそれ以外、破壊靱性以外の保守性もありますので、他の保守性も踏まえた上で ASME  $K_{Ic}$ カーブと同等の保守性を持つ5%信頼下限のマスターカーブが使われようとしているということで、先ほど私言いましたように、ASME の Code Case N-830 であつたり、

IAEA TECDOC-1627、これはPTSに対してIAEAのプロジェクトでまとめられたレポートですが、こんなところでも5%信頼下限のカーブが使われようとしているということです。

ASME  $K_{Ic}$ カーブと同等の保守性を持つと言っているのは、下に絵がありますけれども、横軸、温度方向の破壊靱性曲線に対する各破壊靱性データの温度裕度を取りまして、ASME  $K_{Ic}$ カーブのオリジナルデータに対する温度裕度を分析します。そのときにこの温度裕度は正規分布であると仮定しまして、破壊靱性遷移曲線がある位置での安全レベル、カーブを下回る確率というのを求めますと、右側に表で書いてありますように、ASME  $K_{Ic}$ カーブですと2.5%、一方で、5%マスターカーブのほうは1.5%ということで、同等以上の安全レベルを有しているだろうというような評価が文献にあると。これに基づいて5%カーブはASME  $K_{Ic}$ カーブと同等だというような評価を海外でもしているということです。

まとめますと、この三つ目のポチですけれども、他の評価手法との整合、供用状態A・Bとか、頻度の高い評価であったり、圧力温度遷移曲線とか、そういうものであったりということと、海外の動向としてASMEのコードケースやIAEAのTECDOC、それから、5%という扱いはあるんですけれども、5%を下回るとか、そういうことはあるんですけれども、決定論的に評価を行う上では他の保守性もございまして、このPTS包括使用の見直しにおいては、5%信頼下限のマスターカーブを使用することが妥当というふうに、電気協会では判断したということでございます。

○山中委員 沖田先生、よろしいですか。

○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。

どうぞ。

○北條調査官 規制庁の北條です。

今の御説明ですと、ASMEの $K_{Ic}$ カーブとの比較なんですけど、JEAC4206の $K_{Ic}$ カーブとの比較というのは行われているのでしょうか。JEAC4201の $K_{Ic}$ カーブ、2007年版と、このマスターカーブ、5%マスターカーブの比較、同等の比較というのは行われているのでしょうか。

○平野主査（日本電気協会） 電気協会の平野です。

今の4206の $K_{Ic}$ カーブは、ASMEの $K_{Ic}$ カーブと同じなので、同じ結果になります。

○北條調査官 規制庁の北條です。



全く同じ式の形でしたっけ。

○平野主査（日本電気協会） 同じです。変えました。今、エンドースされている版については $K_{Ic}$ カーブをASMEの $K_{Ic}$ カーブに変えて、 $K_{Ia}$ カーブから変えるときにASMEの $K_{Ic}$ カーブに変えています。

○北條調査官 説明のほう、ありがとうございました。ちょっと確認させていただきます。

○大厩委員 検討会の大厩ですけども、前回の第3回の資料の、資料3-2のところ、こちらで12ページのところに、表1-3というのがございまして、こちらの中で2007年版の破壊靱性カーブを、Wallinの評価法で評価した結果というのをお示ししてございます。

以上です。

○北條調査官 規制庁の北條です。

もう一度資料の場所を教えてくださいませんか。

○大厩委員 前回の会合の資料の3-2の12ページ。

○平野主査（日本電気協会） 電気協会の平野です。

この13ページのもは、2007年版の供用状態C・Dの $K_{Ic}$ カーブの評価結果になります。先ほどの北條さんの御質問は、ASMEの $K_{Ic}$ カーブと言っておられたので、供用状態A・Bで使っている $K_{Ic}$ カーブは2007年版は同じということです。

○北條調査官 規制庁の北條です。

そういうことなんです。それは存じております。ただ、今回問題になっているのは供用状態C・Dの $K_{Ic}$ のカーブだと思うんですが。

○平野主査（日本電気協会） それか、これです。このページで前回評価としては示しています。

○北條調査官 規制庁の北條です。

今のは、先ほど御説明していただいた前回資料3-2の13ページの、図1-6の図ということでしょうか。

○大厩委員 検討会の大厩ですけども、13ページではなくて12ページの表1-3です。

○北條調査官 規制庁の北條です。

資料のほうなんですが、資料3-1の13ページの表3-1ですか。

○大厩委員 検討会の大厩ですけども、こちらから提出した資料の3-1の、13ページの表3-1です。すみません。先ほど規制庁さんの資料を読み込んでしまっておりましたが、電気協会から出した資料としては、13ページの表3-1です。失礼いたしました。

○北條調査官 この資料を見ると、破損確率が5よりも低いからオーケーということの意味している、そういう理解でよろしいのでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田ですけども、そのとおりです。

○北條調査官 わかりました。説明のほう、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。

○笠田教授 東北大学金研の笠田と申します。

丁寧な御説明、ありがとうございました。マスターカーブに変えていくというところの米国初め海外の動向を踏まえて、基本的にはそれに倣って、我が国のプラントに当てはめてみると、それなりにちゃんと評価できているということではないかという話まではわかったんですけども、これは多分次からの話になるんですけど、最後の、じゃあMini-C(T)はどうするのというところは、多分またこれからの話なんだろうけども、Miniじゃないところは、私も何となくこれまでの丁寧な説明で理解できたんですけども、そこが依拠している部分がちょっと見えなかなというところが、ずっと疑問に思っているところだと思いました。

マスターカーブ法に変えていくことによって、ロバストの評価ができるというところはよく理解できるし、こちらのほうが今後の将来的な展開に関してもきちんと評価できるというのは理解できたんですけど、そこにこれも資料最後にぼんとMini-C(T)と書いてあるんで、そこでよくわからなくなっちゃうんです。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本でございます。

ちょっと質問が大きくて、しっかりとしたお答えができるかどうかわからないんですが、それはマスターカーブ法の小さな試験片への適用性ということでしょうか、それともマスターカーブ法を原子炉圧力容器の健全性評価に取り込むに当たって、特別何を考えるべきかという話でしょうか。

○笠田教授 すみません。マスターカーブ法の今のところ1/2T-C(T)とか、そういったものできちんとバリデーションというか、適用できそうだよということを示してこられたのはわかるんですけども、このパワーポイントの資料で最後に、じゃあMini-C(T)というところで、これは本当に今後未知の領域に入っていくところで、Mini-C(T)使ったときに、本当にMini-C(T)で大丈夫なのかというところの説明は、入っていないかなと思った次第です。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本です。

恐らくもう少し後の資料での、4216に関するところの御説明で、サイズの依存性については御説明できるかと思いますが、基本的には試験片の照射状況の依存性は、寸法依存性には理論的に寄与しないというふうに考えておりますので、今までも御説明しましたし、多分、後の資料でも幾つか御説明することになります。寸法依存性については、別途検証するというごさいます。

○山中委員 そのほか、いかがですか。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁の佐々木です。

専門家の皆さんにもちょっとお伺いしたいんですけれども、電気協会さんの資料の4-1の18ページに、鍛鋼品の照射後、破壊靱性データのワイブルプロットが載っておりまして、私どもマスターカーブ法というのがあるということはわかった上で、照射材についても成り立つかどうかというところは、確認したい点の一つになっているんですけれども、載っているかということの一つが、形状係数が4であること。もう一つが位置パラメータが20であること、この二つが大きく分けて知りたいところなんですけれども、この程度載っていれば、これは形状母数は4とみなしてよいと、そういうふうに理解してよろしいんでしょうか。

○大畑教授 大阪大学の大畑ですけれども、その辺りのところ、今日の電気協会さんからのパワーポイントの資料で、きっちり説明いただいているかと思うんですけれども、破壊力学に基づくと理論的に形状母数が4になりますよと。それを実験データから正しいかどうか検証するためには、本来だとかなりの本数の試験片が必要になってきますよと。当然、本数が多ければ多いほど4に漸近するような傾向にはありますと。そういうことから考えると、18ページの結果だと4.5ということで、かなり理論にのっとったようなデータが得られているんじゃないかなということで、4を使うことに対して、かなりいいデータが示されている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。

ありがとうございます。

そうすると、もう一つの疑問であります位置パラメータのほうも、パワーポイントでいただいた資料4-2の12ページに例が載っているんですけども、こういうプロットをつくれるのかどうかちょっとわからないんですけども、これでまた切片のところは20になっていけば、これは位置パラメータも20という数字で使うのは、妥当だということが示されるというふうに感じられるんですけども、それは電気協会さんとしてはこういうことはでき

るのでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

それもちよっと考えてみたんですけども、パワーポイントの12ページにあるのは多分単一温度で多くのデータを取得した場合、こうであればこういうようなグラフを描けるんですけども、温度が今国内PWRの監視試験データ、いろんな温度のデータがありますので、こういうような同じようなグラフで20Mpaというのは、評価は無理だというふうに思っています。

○山中委員 どうぞ。

○笠田教授 笠田です。

例えば照射によって $K_{min}$ が下がっていくということは、物理的にあり得るのか、あるとして考えたら、この評価にどういう影響を及ぼすのかというのは検討をしたことがありますでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

そういうようなところまでは、まだ検討はできていないです。

○笠田教授 東北大、笠田です。

海外とかでもそういう例は、検討は見られないんですか。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本です。

海外での検証の方法としては、まずマスターカーブ法が照射材でも非照射材でも載るかどうかということを、たくさんのデータが必要なので、どこでもできるわけではないですけど、多くのデータを集めて、あるところに対して詳細に行って、どっちも傾向としては20を使うことで工学的には問題ないと。それは前回、前々回か、照射材へのマスターカーブの適用性というところで、マスターカーブにたくさんの照射材のデータが載っていますという図をお示したんですが、そういった結果から、定められている20と4を使うことを認めていっていると。だから、感度解析をしてどうというアプローチではないと思います。

○笠田教授 ありがとうございます。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

今このパワーポイント、資料4-2の12ページについて、廣田さんがこれでこのプロット取ったら、うまく載らないみたいなお話しされたんですけども、私の理解が間違っているかもしれないんですが、単一試験温度法でも複数試験温度法でも、得られる $T_0$ は差はな

いという説明がされているとあって、それとの関係はどういうあれなんですか。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本でございます。

この12ページの資料は、1本の線を引くために全て同じ温度のデータを持ってくる必要がございます。ですから、これで見てくださいと四角のデータ、全部同じ温度です。丸のデータ、全部同じ温度です。ということで、単一温度法だから、複数温度法だからではなくて、一つの温度でとにかくたくさん試験をやらないと、こういうプロットができないということを申し上げました。

○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。そうしたら、このプロットが、でも少なくとも6個から8個はのる。それとも関係ないんですか。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本でございます。

この12ページの右側の図を見ていただきますと、横軸は試験片の本数です。これに対して縦軸はスロープと見ていただいて、スロープの誤差がどれぐらい出てくるかということを見ていただけると思うんですが、今、現実的にある6個とか8個とか10個というのですね、ここにありますとおり、スロープの算定値は結構大きく変わります。ですから、できますけれど、それを持ってきて善しとか悪しとか言うことまでは、言えないというふうに考えております。

○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。ありがとうございます。

○山中委員 そのほか、いかがでしょう。

私からちょっと1点教えてほしいんですけど、先ほど $K_{min}$ への照射量の依存性というのがありますか、ありませんかということ。ないというお答えだったんですけど、いわゆるその材料が使われた炉の個性というのは基本的に現れなくて、不確かさの中にちゃんと包絡されるという、そういうものだ。材料の個性も現れないんだという、そういう考えでよろしいんですか。

ワイブル分布が仮定できれば、いろんなものが、もうその揺らぎの中に、あるいは不確かさの中に包絡されて、包含されるものであるというふうな考え方ですということでもよろしいですか。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本です。

今、先生がおっしゃった炉の個性というのは、恐らく照射量ですとか照射速度ですとか、

照射温度ですとか、そういったところになると思います。

これに対しては、例えばJEACですと4201で評価されてくると。それによってどれぐらいシフトするかということについては、4201でシフトまで決まったところで、破壊靱性がどうなるかというのを4206で、ということで考えますと、炉の個性については横軸方向については4201のほうでケアしていると。4206についてはそのシフトが終わったところで、きちんと照射前後に関わらず同じような破壊靱性が立ち上がりますということを示しているということでございます。ちょっと間接的な説明かもしれませんが、そういったことでございます。

○山中委員 炉の個性というのは、いろいろあろうかと思うんですけど、まず一番大きなというのは、もう照射に関係するようなパラメータ。それと初期にどうか、いわゆる材料の素性、それがもうかなり大きなパラメータかなと思うので、それは多分炉によって、年代によって変わってくるのかなというのが、ちょっと考えるところがございます。

全くそれとは関係ないのかもしれないんですけど、今日お配りいただいたというか、前回もお配りいただいているんですけど、今日の4-1の資料の4ページ、いわゆる非保守性、保守性の議論で使われたプロットで、これ1対1になれば、もうぴったり合うというお話になるかと思うんですが、ちょっとこの図をじっくり見ると、1対1のラインの周りにばらついているのと、実はそのラインを平行移動して、25° ぐらいずらしたライン上に、データがもう1本線が引けるかなという、そういうふうにも見えるんですけど、これなんでもかなという、なんでそういうふうなことが起きるかなというのは、電気協会のほうで何かお考えがありますか。

私、これよくわからないんですが。何となく25° ぐらいずらしたところにデータがばらついているよな、これは何かなという。不思議だなと思いながら見ていたんですけども。本質的でなければ、本質でないでと言っていたら結構です。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田ですけれども、まず今言えることとしては、破壊靱性データの高照射領域のデータを使ったり、あとは $K_{Jc(limit)}$ 、高いデータを除いたり、保守的な取り扱いをしているので、あとはマージンとか違ったりするので、一概には言えないかもしれないんですけども、それらを全部含めて結果的にはちょうど中央というか、平均的な挙動としては25° かどうかわかりませんが、このグラフで言う右側に来ているんだろうなという感じに思います。あとは左上に出ているデータというのは、やはりちょっと低めのデータ、5%下限でやっていますので、低めにデータが出ているも

のについては5プラントで現れてきていると。

それからあと、説明省きましたけれども、前回Fというプラント、鍛鋼品の一番下に出ているプラント、これは25° というよりも、もうちょっと下にずれていると。これは先ほど7ページのFのグラフで包絡性が2007年版では悪かったということに対応しているのかなというふうに思います。

あとは鍛鋼品とか圧延材とか溶接金属とか、それらの依存性という意味で、このグラフをつくってみたんですけども、なかなか一概に外れ具合というか、保守性の比較という意味ではあまり依存性という感じではないのかなというところですか。それ以上のところは現時点で難しいかもしれませんが。

以上です。

○山中委員 ありがとうございます。

ちょっと不思議だなと思いながら見ていて、ある共通したプラントグループで保守性の取り方というんですか、それが共通しているグループがあるのかなというのが想像はしたんですけど、あるいはプラントの個性みたいなものがあるのかなというのはちょっと思ってたんですけども。

いかがでしょう。大分時間も超過していますので、次に移らせていただきたいと思います。

それでは、次の4-3の資料の御説明をお願いしますでしょうか。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本でございます。

そうしましたら資料4-3につきまして、前回JEAC4216、マスターカーブ法のほうに対しておいただきました説明依頼事項の回答、御説明いたしたいと思います。

まず、ページの2ページ目でございます。説明事項の1として、適用試験片に関し、根拠資料が規格に記載されていないものについて、 $T_0$ 測定のための試験片としても適切であるとした技術的根拠を説明してくださいというものでございます。

これは前回に、もう少し詳しい議論がありましたが、JEAC4216にはC(T)試験片として三つ、それから外形が丸い、DC(T)試験片が一つ。それからMini-C(T)試験片というもの。さらにSE(B)試験片、曲げのタイプの試験片が規定されております。Mini-C(T)試験片を除く試験片というのは、もとはこの規格のもととなったASTM E1921に採用されておまして、基本的にはこれを踏襲して4216にも採用したものであるということでございます。ASTM E1921には、その根拠資料というものがありますので、それを書いております。

まず、タイプ I のC(T)試験片については、もともとE399という、ASTMの中の別の規格にあるものでして、これは文献の[1-3]として技術根拠資料が挙げられております。タイプ IIとタイプ IIIというのは、外形寸法としてはC(T)試験片では同一ですが、内側に伸び計をつけるための切り欠き、その形状が異なるものが挙げられております。これについては直接の技術根拠論文、文献というものは示されていないんですが、ASTMにおいては破壊靱性試験における実績があるという試験片として再録されているものでございます。

それから、DC(T)試験片、外形が丸い試験片については文献[4]にその妥当性が。それからSE(B)試験片については文献[5]にその妥当性が含まれております。じゃあ、ASTMのものが、そのままJEAC4216に引き込んでいいかという話でございしますが、ここの話はある試験片の形が決まって、決められた外力がかかったときに、亀裂の先端の応力、あるいはひずみの分布がちゃんと決められた値になりますか、どんな差がありますかということを確認するというのでございしますので、材料の依存性等はなく、例えば有限要素法解析等で証明されているという文献が一つあれば、それはそのままJEAC4216にも採用できるというふうに判断しております。

また少し別の話としまして、機械ノッチの先端の形状という話がございました。これについてはJAEAの高見澤さんらが三次元の弾性有限要素法解析によって、ノッチの形状がいろいろ変わったとしても、そのノッチの先端から最初に入る塑性変形は亀裂の伸展に伴って全部クリアしていくと。ですので、ノッチの形状の影響は残存しないということを検討しております、これを技術根拠としております。

次に、(2)でございします。ページは、3ページです。Mini-C(T)片について、加工精度に関し、異なる者が加工した場合の $T_0$ 算出に与える影響について評価ということでございします。じゃあ、異なる者が加工した場合に何が起こるかということでございしますが、これは機械加工一般でございしますが、微小な寸法の差、あるいは加工面の仕上げの状態の差というものは生じます。

そのときに亀裂先端の応力分布、ひずみ分布に影響がなければ問題ないわけですが、それが大きな影響がないように、寸法公差と表面仕上げの要求というものをしております。寸法公差については、影響が小さいということは第3回の検討チームの3-3の回答後で申し上げましたので、ここでは繰り返しません。

仕上げについてですが、これは破壊靱性の規格というのはいずれだけではございませんで、多くの関連規格、多くの同じような規格がありまして、ここで採用されているものと準ず



る要求となっております。さらに申し上げますと、破壊靱性試験片といいますのは、加工面そのままを試験に供するのではなくて、そこから疲労の予亀裂を入れます。それは一つ前の回答でも申し上げましたけれど、疲労予亀裂を入れることによって、表面の加工層は突破いたしますので、このE1921、それからJEAC4216というマスターカーブの規格ですと最低でも0.6mm入れるということになっておりますので、このような場合には表面加工層の影響範囲は超えておって、影響することはないということでございます。

次に、説明事項の3でございます。資料3-3、前回の資料の1-2、これは4T-C(T)、2T-C(T)とさまざまな寸法の試験片で $T_0$ を比較した図でございますけれど、これについて参照温度に有意な差がないことを統計的に説明することということでございました。

ということで、今回はこの4T、2T、1T、0.4T、それからMini-C(T)試験片、これ図にあった元データというものまで立ち返りまして、その元データを統計的な検定にかけることといたしました。

まずはその元データというのは $K_{Jc}$ のデータでございますので、それを一つ一つに $T_{0q}$ という値に変換しまして、その式はそこに書いてあるとおりですが、それに対して今度 $T_{0q}$ の分布が試験片の寸法によって影響があるか、ないかということを、コルモゴロフスミルノフ検定(K-S検定)によって検定しました。この検定法を選んだのは、これがノンパラメトリックな方法だから、関数形に依存しない方法でありまして、またその検定の目的が二つの母集団の分布の相違を検定するという、今回の目的に合致しておりますので、これを選びました。

帰無仮説としては二つの母集団の分布が同一であるということを立てまして、手順と結果は詳細割愛しますが、このK-S検定の定めに従って検討を行いました。その結果は図3-1と表3-1にまとめております。図3-1は赤いものがさまざまな大きさの試験片、それから青いものがMini-C(T)試験片の $T_{0q}$ と累積確率分布のステップ上の分布を示しておりまして、この分布が同一と考えられるか、考えられないかということを経験的に行ったということです。

結果は表3-1にまとめておりますが、 $p$ というのが検定量でございますので、この $p$ が有意水準0.05を上回っている場合には帰無仮説が採択されるということで、今回についてはさまざまな大きさの試験片とMiniature-C(T)の結果、比較においては全てが採択される。したがって「二つの母集団の分布が同一である」という帰無仮説が採択されるという結果になりました。

次ですが、説明事項の(4)として、JEAC4216は、ASTM E1921を参考に作成したとのことであるが、資料3-3の(1)式に示された標準偏差の式はASTM E1921と異なる。その理由と(1)式での導出過程を説明することということでございました。

回答としては、まずこの導出過程を添付しております。導出過程については、この資料の一番最後の3ページに、これは破壊靱性検討会の下部のワーキングに出されたものでして、参照文献の番号としては、これの元となった文献を引いておりますが、ここに添付しておりますのはワーキングに出された資料でございます。詳細は割愛しますが、式1が $K_{Jc}$ との平均、それから標準偏差というものを示しております、そこから今度、参照温度の推定に関しまして、マスターカーブ法では式3のような関係があるということで、今度 $T_0$ のばらつきのほうに変形していきますと、最終的に式7のような形に $T_0$ の標準偏差が表されるということになっております。この式7が実際にJEAC4206でございますが、ここに採用された標準偏差の値ということになります。

前のほうの回答に戻っていただきまして、回答(4)の5行目からです。ASTM E1921における参照温度 $T_0$ というのは、この依頼事項にもあったとおりJEAC4216と違うわけなんです、実は同様の考え方、同様の式に基づいているというふうに考えられます。ただし、ASTMにおいては、この式そのものを与えるというより、より簡易的な評価を目指したものと思われまして、スリーステップの段階的変化として $T_0$ を与えるようになっております。これは図4-1に示しておりますが横軸に $K_{Jc}$ をとって、縦軸にその標準偏差をとりますと、JEACの式を用いますとその試験片、個数に応じて連続的な黒い線が引かれておりますが、これASTMの定めによりますと、 $N=6$ について示しておりますが、このようにステップの状態になっております。

これはこの黒い線の $N=6$ よりも上にありますが、特に $K_{Jc}$ が大きいところで $\sigma_{T_0}$ を大きく見積もるようなものとなっております。JEAC4206においては、式でございますけれど、式はそれほど困難な式ではないと。算出可能であろうというふうに考えておまして、そのまま採用しているということになっております。ですので、ASTM E1921に比べまして、技術根拠をより正確に反映しているというふうに考えております。

次ですが、(5)でございます。単一温度法の場合、必要な試験片の個数 $T-T_0$ が温度範囲に応じて6~8個となっております。温度範囲と必要個数に対応して同等の $T_0$ が得られるかについて評価した内容を説明してください。同様に、複数温度試験法において、必要データ数を規定する際に重み係数を用いておりますけれど、これについても評価した内容を説

明してください。これらの説明の際、同じ試験片個数の要求をMini-C(T)試験片に対して適用することにした内容も含んでくださいということでございます。

まず、じゃあこの6個、7個、8個というのは何かということでございますけれど、マスターカーブ法ではマスターカーブの形が低温度域になると寝てきますので、それに応じて $T_0$ の信頼性が低下いたします。これを補っていずれの試験温度でも同等の信頼性を得られるようにということで本規定が設けられておまして、複数温度法における重み係数も同じ考え方で、低温側では多くの試験片を求めるということになっております。具体的な温度制限と必要個数については、ASTM E1921の規定をそのままJEAC4216に採択したものでございます。

マスターカーブの形状自体はE1921とJEAC4216で同一でございますので、両規格で $T_0$ の信頼性に差がないということでございますので、JEAC4216の制定時には、追加の技術検証は特には行っておりません。ただし、ASTM E1921についても本規定について明確な技術根拠は示されていないようでございます。

参考情報でございますが、最近のASTMのE1921の改定議論する会議に、図5-1のような図が示されました。これは $T_0$ の評価の信頼性を試験片数ごとに示したものでございまして、パラメータとしては試験片の根数がNが1から大きいものでは120個まであったときに、 $T_0$ の信頼性がどれぐらいですかということを多数の線で引いているものでございます。ここで試験片の要求個数が6個から7個、7個から8個、あるいはこれ以上の低温では試験していきませんというリミットの温度というのが $-15^{\circ}\text{C}$ 、 $-35^{\circ}\text{C}$ 、 $-50^{\circ}\text{C}$ ということになりますが、ここで線を引いてみますと、この $T_0$ の信頼性において87.5%以上を満たす評価となっているようでございます。この87.5%という数字の具体的な理由というのは書かれておりませんが、同一の信頼性をどの試験温度でも担保しますよという意味では、この図でこの制限、それから6個、7個、8個という個数で、同一の信頼性を担保できていることをおわかりいただけるかと思えます。

また、Mini-C(T)に関してでございますが、この $T_0$ の信頼性というのは試験片寸法によることではない。理論的に試験片寸法は関係ないということでございますので、適用できない理由はないというふうに考えております。

最後に、(6)です。複数温度法から得られる $T_0$ と単一温度法で得られる $T_0$ が同等であるかについて、評価した内容について説明してくださいということです。

これは前回も御説明した内容からの継続の御質問というふうに判断しておりますが、ま

ずは第3回の回答(3)において、理論的には複数温度法と単一温度法は同一であると。ですので、違わないようにつくられているということは、もう一度御説明させていただきたいと思えます。

じゃあ、それが実際の試験データに対してどうかということについて、国産圧力容器鋼について、さまざまな温度で $T_0$ を評価した結果について御説明いたします。図6-1が横軸は試験温度で、縦軸は $T_0$ の値を示しているものでございまして、さまざまな試験片寸法、それから試験片形状が異なるものについてもプロットされております。標準偏差のエラーが示しておりますけれど、これからシステマティックな、上がっていく、あるいは下がっていくというトレンドがないことがおわかりいただけるかと思えます。

それから、その結果として $T_0$ がどうなったかということをもとめているものが図6-2でございまして。ちょっと文字は小さいですが、(sgl.)と書いてあるものが単一温度試験法によるもの、ところどころ(mlt.)マルチと書いてあるものが複数温度試験法によるものでございまして、これらの単一試験温度法、複数試験温度法による差が顕著な差、そしてシステマティックな差というものが無いということがおわかりいただけるかと思えます。

前回文献11というものにおいて、3温度以上の複数温度法が推奨されていますという御指摘がございました。これは実用材料においてはマスターカーブ法の温度依存性の曲線、これは経験式でございまして、これが統計的には分布する可能性があるということから、よりよい評価のために推奨しているものと書いてあります。ですので、単一温度法で $T_0$ を評価することを否定するものではないというふうに判断しております。

説明は以上でございまして。

○山中委員 資料4-3に基づいて、破壊靱性参照温度 $T_0$ 決定のための試験方法に関する追加質問に関する回答をいただいたところでございまして、御質問、コメント等ございましたら。

○笠田教授 東北大の笠田です。

御説明ありがとうございました。これまでも指摘させていただいていたんですけども、その回答(1)のところの適用試験片に関して規格に記載されていないもの、現状は根拠というのが技術的根拠というか、理論的根拠で適用可能であるはずだという話だと思えます。でも、実際にラウンドロビン試験をやってみるとばらつきが結構大きかったりとか、あとは3点曲げ試験片はどうもバイアスがあると。だから理屈としては、私も含めて同じであるべきものがずれてくるというのは、実際の運用上に何らかの困難さが存在している

ということなのかな。

例えば、曲げ試験でやると荷重性変位をきちんと本当にはかかれているのかとか、そういったところがきちんと担保できていないという状況が別途説明されてしまっているの、これだと説明と実態が一致していないというのが正直思うところなんです。だから、理屈と運用の困難さの違いというのが、切り分けられていない印象を受けるんですけども、その辺りいかがでしょう。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本でございます。

今、先生がおっしゃったのは、試験結果に影響を及ぼすものとして試験片の影響とというのは、一言で言うと試験片の影響になってしまうんですが、切り分けて考える必要があると思っております。すなわち試験片の形状の影響、それから試験片の寸法の影響、それから試験片の形態が違うことによって、応力やひずみの分布がもともと違うものということをよく切り分けて考える必要があると思います。

そのうち、まずバイアスという話でしたが、これはピュアなベンディングであるか、引張要素が入るかということで大きく異なります。ですので、これについてはなかなか難しいということも考えられると思います。それはSE(B)に関してでございますし、今までも議論であって、もう少し検証が必要であろうというところでございます。次に寸法についてです。寸法はやはり破壊靱性はその寸法によってどう影響を受けるかということでございますので、実験的な検証が必要であったということでございます。そこで理論はもちろんありますけれど、実験的な破壊靱性ですから、材料特性ですから、これは必要であろうというふうに考えました。

これに対して今回の御質問というのは、試験片の形状でございます。形状というのはこれを左右する材料乗数というのは、例えばヤング率であったりとか、弾塑性であっても降伏点と加工硬化係数ということで、これは材料によってばらつくものではないというのはもう実験事実として既知のことというふうに思われます。ですので、ここでは形状に関しては有限要素の解析の結果を用いることで、十分であろうというふうに考えたということでございます。

説明は以上です。

○笠田教授 曲げに関しては現状では厳しいというところは共有できたんだと思います。形状に関してはきちんと示されているけども、私の二つ目の質問は、だからMini-C(T)を使う場合のラウンドロビン試験をやった場合には、試験者によって $T_0$ に関して、それなり

の違いが示されていると。その違いというものが本質的なものなのか、試験者による何らかの違いが反映されているのかというところがちょっと不明確だったので、Mini-C(T)はこれまでの国際的な規格でも示されていないものですから、やはりその要因がちょっとわからないと。

ちょっと話がずれちゃうかもしれないんですけど、それと関連するかどうか。今までの1/2C(T)の監視試験の破壊靱性試験というのは、評価者というのはそれぞれ全部違うんですか。その辺りはこの中に入っているんですか。

○廣田副主査（日本電気協会） 個々のPWRプラントの監視試験データということですか。それは同じ機関で試験等評価はやっています。

○笠田教授 いや、だからこそ、それはそういった要因が入ってこない条件でやっているんで、それは非常にいいことだし、きちんと証明できていると思うんですけども、一方、このMini-C(T)の根拠となっている部分の、一つのラウンドロビン試験を実際にやってみると、実施者によってこれだけ違いますよということを示しているわけです。その違いに関しての理解というのも、ちょっと私は理解し切れていないんですけども、要するにこの規格で定められた試験法に従っているつもりでも、これだけ違いが出得ると。

だから、やはり試験法自体の規定がちょっと足りないのか、例えば前回も申し上げたかもしれないんですけど、シャルピー衝撃試験だったら、シャルピー衝撃試験機の性能をきちんと標準サンプルでたたいてみて、ちゃんと何J出ているから、この試験機はオーケーとか、破壊靱性でそこまでやるということはあまり聞いたことはないというふうに伺っているんですけども、ただ、こういう結構Mini-C(T)は、私も自分でやったことが、それに近い、Mini-C(T)まで小さくないですけども、やったことがあるんですけども、温度の測定の方法とか、そういったところでも違い得るような気がするんで、その運用性がいまいち不明確かなと私は思っております。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本でございます。

まず今議論になっております説明事項の(1)に関してでございますが、これはMini-C(T)に関しては技術根拠が示されているので、それ以外のものについてどうなんですかという説明事項だと理解しております。ですので、Mini-C(T)については説明しておりません。

次にMini-C(T)が試験者の影響があるか、ないかということでございますが、これまで一貫してラウンドロビンの結果としてシステムティックな人の差というのは見てとれないというふうに御説明申し上げてきたつもりでございます。ですので、大きな試験片と同じ

ように、ラウンドロビン試験をすれば、この用意された標準偏差ですとか、ばらつきの範囲にきちんとおさまるデータが誰でも得られるというのが、今回の規格にのっとった試験をやれば出るデータであろうというふうに考えております。形としては非常に単純な回答でございますが、これで幾つか御回答になっているでしょうか。

○笠田教授 いや、A・B・C・D・E・F・G・H・Iと評価者が並んでいて、この破壊靱性の $T_0$ が、一応それぞれの評価者のエラーバーの中にはおさまっているところにあるということによしとしていると。この違いというのは今後のマスターカーブ法を運用していく上で問題にはならない違いであるということ。そのつながりが多分、私がまだきちんと理解できていないと思うんですけども、あとこのエラーバーも含めた中に、全部平均の部分がかかっているからオーケーというのは、これまでの確率論的評価の中での位置づけに合致している、 $2\sigma T_0$ に入っているからオーケーというのは、ちょっと私が理解できていないのかもしれないんですけど、すみません。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本でございます。

今、先生がおっしゃっているのは、前回の資料の(6)の図6-2、ページでいきますと15ページということだと思います。

まず一つはJEAC4216というのは $T_0$ を求めるという規格でして、そこから試験ですからばらつきというのはどれくらいありますというのはもちろんありますが、それをアクセプトするか、しないか、健全性評価に用いてよいかどうかというのは、今度は4206のほうに入っています。それは今日、先ほど御説明申し上げた $T_0$ の標準偏差ということでございますので、それは何かというと、マスターカーブのようなばらつきを考えた上で、4206で健全評価を採用するに当たっては、これだけ4206の結果がばらつく可能性があるのも、そこをきちんと担保しなさいよということで、標準偏差の $2\sigma$ というのを考えているということでございます。ですので、そこで担保すべきものと。

4216に関してはマスターカーブ法で定められている、あるいは考えられているばらつきの中に、きちんとデータがおさまってきますねということを確認したということで、それが図6-2の $2\sigma$ のエラーバーに全てのデータがかかっているという。だから外に出ているものはないということでございます。

御存じのとおり、これは限られた試験片でやっております。それはもちろん現実的に何百個も試験するわけにはいきませんので、現実的な個数でもちゃんとデータが出ますよということをラウンドロビンで確認したものでございますので、上に行ったり下に行ったり

しているように見えますが、これは我々としてはエラーバーにかかっていることできちんとクリアできている、健全性については必要であれば $2\sigma$ を追加するわけですから、クリアできているというふうに考えてございます。小さな試験片の問題ではないというふうに考えております。

○山中委員 よろしいでしょうか。そのほか、いかがでしょう。質問、コメント。

○鬼沢センター付 よろしいでしょうか。原子力機構の鬼沢です。

ちょっと細かい質問になるんですけども、今の適用試験片のところで資料4-3の2ページで、DC(T)とSE(B)についてはそれぞれ文献[4][5]と示されていますけれども、すみません。中身まだ確認できていないんですが、タイトルを見る限りこれはK値を評価しているような文献になっていて、実際は4216ですとKというよりはJ積分で $K_{Jc}$ を求めるので、文献としてこれが妥当なのかというの、ちょっと思いましたので、その辺はよく確認していただいたらいいと思うんですけども。

それから、もう一つは、今後4216を使っていく上で、先ほどの4-1の資料で出された各プラントのデータの中に、1X-WOLという、またちょっと違う形状の試験片があったりして、 $T_0$ を求めるということには使わないのかもしれないんですけども、それは4216に含めなかったという根拠として、今後 $T_0$ には使わないということだということによろしいのでしょうか。二つ質問入っちゃいましたけど、お願いします。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本でございます。

まず、前半の部分について。おっしゃるとおりだと思います。KとJは違うと思いますので、そういった文献があるか、もう少し調べてみようと思います。ただ、ここに書いておりますのは、JEAC4216はDC(T)についてはE1921を引いてきている。E1921は技術根拠文献としてこの文献を引いている。基本的にはそれで我々は納得していたということでございます。どうしてもJ積分、あるいは塑性変形までいかないと難しいという議論になれば、もう少しSE(B)と同じように検討が未来に必要なことなのではないかというふうに考えます。

前半については、以上です。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

後者のほうの1X-WOLにつきましては、比較的初期のプラントの監視試験で1X-WOLは入ってしまっていて、本数がマスターカーブ設定できるほどそんなに十分あるわけじゃないということもありまして、今現状はマスターカーブというのは考えていないので、4216には必ず



しも入れなくてもいいのかなというふうに思っています。

○鬼沢センター付 わかりました。ありがとうございます。1X-WOLについては資料4-1で初めて出てきた試験片でもあるし、破壊靱性をどういうふうに求めているかというのもあまり共通認識がないので、その辺はちょっと説明が不足しているんじゃないかなと思いますので、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。

○大畑教授 大阪大学の畑です。

5番についてのところなんですけども、今回低温では試験片本数多くしなさいと。仮に例えば $T-T_0$ が $-15^{\circ}\text{C}$ のときに6本でいいよとした場合に、同じ $T_0$ 評価の信頼性を得るためには低温でやった、 $-50^{\circ}\text{C}$ でやった場合には8本、これが同等ですよと、そういう評価の結果を出していただいているんですけども、要は高温で6本でいいよという根拠はなかなかASTMのほうでも示されていないということによろしいんですか。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本でございます。

そのとおりでございます。

ただし、じゃあそれでいいのかということだと、そうではなくて、6本ですと $T_0$ の信頼性というのはこういうものですよということを、セットにして与えているということになっております。ですから、もちろん、もしこれを7本と決めれば別の値、8本と決めれば別の値ということになります。そういうことだと思います。

○大畑教授 ありがとうございます。

阪大の畑ですけども、この辺の実験的検証結果というのはありますでしょうか。低温での8本、高温での6本が本当にこれぐらいの信頼度で $T_0$ 評価できているよという結果というのは、実際の実験結果というのはございますでしょうか。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本です。

あると思いますが、ちょっと頭にぼっと浮かびませんので、少し調べさせていただきたいと思います。

○大畑教授 ありがとうございます。

もう一つ関連してコメントなんですけども、このPTS評価という観点では、 $T_0$ を評価するに当たってMini-C(T)も適用はできますよということなんですけども、これはあくまでも、例えば極厚の試験片でもMini-C(T)試験片でも、板厚方向に材質が均一である場合に限ってのことであって、もちろん、この評価の中でそんな極厚の貫通欠陥の健全性評価と

か、そういったことはしないと思うんですけども、そういう前提条件があると。といいますのも、この規格がひとり歩きして、一般の極厚の靱性を得るのに小さい試験片でもいいですよ、評価できますよとなると、それは必ずしもそうじゃなくて、あくまでも板厚方向に材質が均一であるということが大前提になりますので、その辺ちょっとひとり歩きして変な使われ方されないように気をつけていただければと思います。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本です。

先生おっしゃるとおりでございます、マスターカーブ法、それからJEAC4216、E1921もそうですけれど、適用としては均一であることが前提になっていると思います。そのとおりだと思います。

○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。

どうぞ。

○藤澤参与 規制庁の藤澤です。

資料4-3の(3)の資料4ページ、5ページの、有意の差がないかということを経験的に説明してくださいということをお願いしたもので、今回はK-S検定を使って行っていますけども、この5ページの図3-1を見ますと、横軸ですけど、赤い曲線と青い線の温度範囲が異なります。

こういう温度範囲が異なることによって、下限と上限の部分の線が横になって、漸近線のように等しくなっているんですけど、そういうふうな分布を与えると、どうしても有意水準を超えるような数字になってくるというふうには思うんですけど、これ普通の分散とか平均値、こういうふうなもので検定という方法はできないのでしょうか。まず、それをお伺いします。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本でございます。

ちょっと御質問の趣旨がよくわかっていないんだと思いますが、K-S検定においては下のほうとか上のほうとか温度範囲とか関係なくて、各温度、各温度における、例えばここで行くと青い線と赤い線の差がどれくらいあって、その最大値がどれであるかというのは検定量になっておりますので、その心配はないと思います。

後半の分散というのは、ちょっと具体的にどういったものをおっしゃっているのかわからないので、もう少し詳しく教えていただければと思いますが。

○藤澤参与 藤澤です。

例えばt分布による検定とか、そういうのもできると思うんですけど。このやり方、

私はこれ結局縦軸は累積分布ですから、どうしても上限が同じになります。そうするとデータが同じ範囲で温度の範囲が違うので、比べると範囲を広げれば広げるほど、範囲というのは温度ですけど、それを広げるほど有意差がありませんよという検定になるんじゃないかなという、そういうふうにいるんですけど。

○山本委員（日本電気協会） K-S検定がどういった検定であるかをちょっと見ていただければ、そういうものではないということはおわかりいただけるかと思います。なお、これは $\chi^2$ 分布をベースとして検定を行っているものでございます。

○藤澤参与  $\chi^2$ 分布をやっているというのはわかります。 $\chi^2$ 分布というのは、離れたところのデータが割りと重きをとろうというやつですので、それが逆にこのデータだと横軸の左側と右側、その部分のデータが結局は同じになりますので、それで $\chi^2$ 分布であると値が小さくなるというふうな、そんな感じになるんじゃないかなと思っています。

○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。

もしよろしければ、K-S検定がどういった検定かというのを、もう少しお調べいただければいいんじゃないかと思います。

○藤澤参与 わかりました。

それから、もう一つですけど、資料4-3の(4)この標準偏差の値のところの説明なんですけど、ASTMがE1921に規定している標準偏差の式は、試験片の数によるものと、それからもう一つ試験に依存する不確かさというものがありまして、その定数として4℃というものが入っております。電気協会の規定では、4℃という規定はないんですけども、これについて含まれていない理由について説明をお願いします。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会の山本でございます。

もう少し多分確認したほうがいいと思うので、一旦持ち帰らせていただきたいと思いますが、一つはJEACに関しては4206。ですから、原子炉圧力容器に限って、その供用中の評価に対してどれぐらいのマージンを考えればよいというところに、この標準偏差が盛り込まれています。

一方、E1921については、マスターカーブの試験法のほうに標準偏差。したがって、対象となる業界も大変広い範囲で、先ほど試験者は同一かどうかというようなお話もありましたが、それについても不確定要素が非常に強いところに規定がなされているものでございます。個人的にはこういったところが $\sigma_{exp}$ のある、なしに影響しているというふうには思っておりますが、ちょっと持ち帰ら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。

二つあるんですけども、一つは6ページなんですけども、この書いてあるのを読みますと、私の理解ではJEACもASTMも元の同じ技術的な根拠を展開していて式の形が違いますというふうに聞こえたんですけども、その元になっている技術的な文献かわからないんですけども、そういうのを御提示いただけないかなというふうに思います。

それともう一つなんですけども、8ページの(6)の質問についてですけども、これは元の式を展開すると同じになるから、もともと同じものですよという御説明があったんですけども、単一温度試験法の場合はサンプルの温度の幅が6℃あると思うんです。だから、その範囲でずれが生じるのがどのぐらいなのかなと、そういうことも含んで同等でしょうかということがちょっと気になるので、それについても教えてください。

○山本委員（日本電気協会） まず一つ目の御質問は、JEAC4216の技術根拠ではなくて、ASTM E1921の技術根拠文献を示せということでございましょうか。1980年代ですので、どこまでフォローできるかどうかはわかりませんが、我々の認識では明確な技術根拠のオープンなものがあったかどうかはちょっと不確かでございます。それはそのためにここに書いてあるように、確からしい技術根拠というものを $\sigma T_0$ の形で導出して、それを我々としてはそのまま採用している。ASTM E1921についてもこうやって比較をすることで事実根拠は同じであろうというふうに推定しているところでございます。

ですから、これに関しましては、別にE1921がこういっているからそのまま輸入しているということではなくて、技術根拠を確認した上でこうであって、E1921は多分同じであろうなど。ただ、デフォルメしているんであろうなというふうに考えているということでございます。

後半のほうの御質問はちょっとごめんなさい。御質問の趣旨がとれなかったので、もう一度御説明いただけるでしょうか。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

単一温度法から得られる $T_0$ を測定するというか、出すときには、温度が±3℃の範囲のものを単一温度にしていると思うんですけども、試料体としては個々に6℃の差があるということがあろうと思うので、それでも複数温度法でやったのと同じになるというところを御説明いただけないかなという意味です。

○山本委員（日本電気協会） 試験温度の測定誤差が、いかに影響するかということですか。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

この単一温度法から $T_0$ を得るときは、例えば解説によると、 $-70^{\circ}\text{C}$ を設定して試験をしたときに、 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ までだから $-67^{\circ}\text{C}$ から $-73^{\circ}\text{C}$ までの範囲のものだったら、一つの $-70^{\circ}\text{C}$ として計算しますというようなことが書いてあるんです。

○山本委員（日本電気協会） それは複数温度法でも一緒ですが。

○佐々木企画調整官 そうなんですか。

○山本委員（日本電気協会） はい。

○藤澤参与 藤澤ですけど、今の質問の意味は、複数試験温度法でも、温度レンジに関しては一つの温度としてやっていいですよという、そういう意味での複数温度を規定しているということですよ。要するに、 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ というレンジについては、複数試験温度法でも同じですよ、今、そういう回答ですよ。

○山本委員（日本電気協会） はい。

○藤澤参与 そうですよ。ちょっと意味が違うんですよ。

○佐々木企画調整官 すみません。じゃあ私の勘違いだったようで申し訳ありません。

最初のほうの質問、6ページのほうについては、私は同じ技術的な根拠から出発して式が違うというふうに聞こえたんですけども、わざわざ違う式を使っているの、何か理由があると思うんですけど、基本はASTM E1921を取り込みました。それについては試験体の数もそのまま使っておりますというような感じだったので、わざわざそうした理由が知りたいというだけなんですけど。

○平野主査（日本電気協会） 電気協会の平野です。

先ほどの藤澤さんの件も含めてですけど、ここの $\sigma$ のところがアネックスに載っていて、最初何もわからなかったんです。それで当時のワーキングのところでは正規分布でやれば、ほぼ同じ値が得られるということがわかったので、先ほどの説明のとおり、こういうふうに算出したんだろうと思ったけど、ASTMの根拠というのがわかっているわけじゃないです。

ASTMの明確な根拠、よくわからないので、今回算出したもので規定をしようということで4206のときにやると。そのときに先ほどあった $\sigma_{\text{exp}}$ という実験的な誤差というもの、その根拠が、それも当時は全くわからず、今調べればわかるのかもしれませんが、わからなかったの、今この $\sigma_{T_0}$ の式を使って2倍の $\sigma$ を4206で与えていけばいいんじゃないかということで、4206のほうはそうしたということです。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

理由のほうはわかりました。御自分で検証されて決めたということなんですね。

○山中委員 少々時間が押しておりますので、ほかにもあろうかと思えますけれども、もしありましたらまた後ほどいただくとして、佐々木企画調整官から破壊靱性参照温度 $T_0$ 決定のための試験方法に関する技術評価書（案）について、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、佐々木です。

時間がかかり過ぎてしまいましたので、今議論を踏まえて読んでいただければある程度わかると思いますので、かなり飛ばさせていただきます、まず、4ページの2.2適用試験片のところですが、今、御説明いただいた内容からして、7ページのところに我々の考えていることが書いてございまして、7ページの下のところ○が三つございまして、私どもとしてはさっき藤澤のほうから話がありましたけれども、Mini-C(T)と $T_0$ の差を求めた結果を御説明いただいたんですけども、有意な差がないということが示されていないと思っていますので、ほかの方法で評価していただいたほうがいいんじゃないかなと思っています。ただ、今、山本さんのほうからは示しているということですので、これについては我々のほうでもう一回確認してもいいかなと思います。

それから、次はC(T)とMini-C(T)については、寸法の検討ですからいろいろな検討されていますので、この技術評価においては、まずはC(T)とMini-C(T)について対象として技術評価をして、その結果を踏まえて残りの試験片についてどうするかを考えるというふうにさせていただいてはどうかと思っております。

それから、Mini-C(T)については笠田先生のほうからもお話がありましたけども、いろいろなばらつきがあるという結果が、ラウンドロビンで示されているように思いますので、それを考慮する必要があるのではないかというふうに思っています。というところでございます。

それから、次のページに行きまして、今度Mini-C(T)の寸法及び形状について、前回までに説明していただいた内容について確認いたしまして、9ページ、見ていただきますと、赤の四角で囲ってあるところの寸法は、大きな試験片に比べると緩和していますという御説明をいただいています。ただ、これについては文献を示していただいています、有限要素法解析によって、この許容差が緩和された場合の影響を確認していますということ、御説明がありまして、そのワーストケースで考慮しても寸法公差の緩和による影響は1%に満たないということが示されていますという御説明がありました。これを見ますと、先

ほどの御説明にも亀裂の先、疲労予亀裂のところが重要だということもありますし、この結果いただいていますので、緩和された寸法公差自体は妥当ではないかというふうに思っています。

ただ一方で、クリップゲージの取り付け部についてなんですけども、もう一度戻っていただきまして9ページの図面がありますが、ピン穴のところの切り欠きの部分、こちらは規格上は寸法が記載してございません。

これについて御質問したところ、次の10ページのところに図2-6として示しております図面を提示いただいております。これを見ますと、切り欠きの奥行きが0.6ですとか、そういう形状についても記載されておりますが、これは規格上の図面ではないということと、寸法公差がちょっとわからないということで、切り欠きの、例えば丸穴の下のほうのところAと書いてありますけども、この辺りが非常に近寄った場合に試験体にかかる影響があるのではないかと考えておりますので、切り欠き部の形状部寸法については、何かしら規定する必要があるのではないかというふうに思っています。

またASTMのほうには、ピン穴の平行度を規定していますので、これ斜めになっているとまた違った数値が出てくるのではないかと思うので、規定する必要があるのではないかなというふうに考えております。

それから、次の11ページになりますけども、機械切り欠き形状及び寸法と、あと疲労予亀裂の寸法についてですけども、12ページ見ていただきまして、先ほど御説明がありましたけれども、図2-7の塑性域寸法の推移の比較というところで、ここでノッチに荷重をかけるときに生じる塑性変形が0.2mmぐらいに対して、Miniature試験片で0.6mm以上の疲労亀裂を入れることになっているので、その影響はそれほど大きくないので、技術的に妥当ではないかというふうに考えております。

ちょっと飛ばしていただきまして22ページを御覧ください。これは試験片個数とデータ個数についてになりますけれども、これについては今23ページの下のところは技術根拠とされる文献を確認し判断することとしたいとしましたけれども、今、平野さんの御説明にあった内容で、別に技術的根拠が同じとか、そういう意味ではないということでしたので、これについては次回までに検討させていただきたいと思えます。

それから、飛ばしていただきまして、26ページになりますけれども、今度は試験片、データの有効性の判断基準についてということで、データの棄却または無効とされる判断基準というのがございますけれども、この下のところに下手くそな図面がついていますけれ

ども、判定基準のところは四角の中の(1)の2行目ではありますが、板厚Bの5%か0.5mmのいずれか大きいほうを超える場合棄却するとなっていて、板厚がMiniature試験片の場合4mmになりますので、大きいほうの0.5mmが取られますが、そうすると疲労予亀裂の形状が左がMini-C(T)で右がC(T)で、これちょっと日と同じになっているだけでこの大きさ違いますけれども、こういう形で違っていて、C(T)のほうは板厚Bの5%のほうが大きいので、例えば1C(T)ですと1.27となりまして、それに対してこういう形が違うので、これはこれでも0.5としていいという技術的根拠はちょっと確認させていただく必要があるのではないかと考えています。

それから、次のページに試験片寸法の補正ということで、試験片の寸法を最終的に1Tに換算することになっていきますけれども、それについても前のページの図と同じように、疲労予亀裂の形状が異なるので、それでも同じとしていいのかということを確認させていただきたいというふうに思っています。

以上です。

○山中委員 ただいまの説明について、質問、コメントございますでしょうか。よろしいですか。

どうぞ。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

説明のときに忘れてしまったんですけども、今回いただきました資料が会合に近かったということがあって、文献の内容をまだ入手できていないものがありまして、ここの中に書いてある内容にその内容が盛り込まれていません。その中でいただいた資料の中に出てくる文献のうちには、購入とかそういう形ができない文献がございまして、文献を確認できないものがあります。そういうものをどうするかについては、電気協会さんとしてはどう、それ手に入らないと比較評価できないと思うんですけども。違う文献で説明していただくということもあるかとは思いますが。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本でございます。

我々の中では手に入らない文献はないというふうに認識しておりますが、具体的にはどの文献でございましょうか。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

資料4-3の9ページを見ていただきますと、文献で[7]、[8]、[9]とありまして、[7]と[9]は電中研の報告書が載っている電中研のページがありますけれども、その中になくて、



これが入手できないと。それから[10]については、これはASTMのcommittee meetingの資料みたいで、どうやって購入したらいいのかがちょっとわからないので、御協力いただきたいという意味でございます。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会の山本です。

[7]と[9]については、公開の文献というふうに認識しております。入手はWEBから自動的にダウンロードではございませんが、公開の文献でございますので、入手は可能というふうに考えます。

[10]については、おっしゃるとおりでございます。committee meetingの資料ですので、なかなかございません。これはASTMの技術根拠ですので、その御説明を差し上げた資料4-3の回答(5)ですが、その中に上のパラグラフの下から二つ目の2行目、最後の行まで、「本規定について明確な技術根拠は示されていないようです。」というふうに書いております。

この文献[10]は、そうは言っても、そこでおしまいにしてはよろしくないだろうということで、可能な限りの参考情報としてこれを持ってきているというものでございます。ですので、もちろんちょっと入手は難しいんですが、その辺りできるだけ説明をわかりやすく、それから理解していただけるように努力した結果だと思っただけると大変うれしいです。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

そうすると、[7]と[9]の論文というのは、非常に大事な内容が書いてあると思うんですけど、これは電中研に問い合わせれば入手できると、そういうことでしょうか。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会の山本です。

電中研にお問い合わせいただければと思います。

○山中委員 そのほか、いかがですか。

どうぞ。

○沖田准教授 東大の沖田でございます。

先ほどの佐々木さんの質問ともちょっと重なるのですが、文献を見ると必ずしも査読がきちんとしていないということ、査読がそれほど厳しくないような論文もありまして、事実根拠にするには少し弱いかなという論文も見受けられますので、今後参考文献、あるいはそのデータ根拠に関しましては、もう少し権威のある論文等々で検討していただければ非常に我々としても助かります。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会の山本でございます。

今回お示ししました電力中央研究所の報告書2件につきましてですが、技術根拠として引かれておりますのは、これをきちんとエッセンスとしてまとめて、ASMEのジャーナル、あるいは日本機械学会のジャーナルとして載っているものがございます。ですので、そういう意味ではきちんと権威のあるところで求められております。

じゃあ、なんでここで電中研の報告を引いたかということでございますが、これは元の試験片の大きさの比較の結果とか、そういったものだけではなくて、その奥まで立ち返って検定をすべしというような、新たな要求がございましたので、それについてはやはり元のデータまで立ち返らないといけないということで、詳細なものまで立ち返ったということです。そういったことでは技術根拠として引かれているものは、きちんと査読論文であるというふうに考えております。

○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す。ちょっと誤解を招いたかもしれませんので申し上げますが、決して電中研さんの研究報告書が質が劣っているという意味ではございませんことは御了承いただきたい。ほかの国際会議の論文等々で、もう少し査読がしっかりした論文を検討していただければと思います。

○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。

それでは本日の議題は以上でございますけれども、全体を通してほかに御質問とか御意見、ございますでしょうか。

どうぞ。

○笠田教授 よろしいですか。お願いというか、かなり興味も入っているんですけど、ラウンドロビンの結果はバイトなデータが200個ぐらいあるじゃないですか。多分試験温度も統一しているんですか。それで $K_{min}$ と評価したら、それなりにMini-C(T)でもその点が出ているのかどうかとかと評価できるような気がするんですけども、半分ぐらい私の興味なんですけれども、御検討いただけるとありがたいです。

○山本委員（日本電気協会） 承知いたしました。

○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。

それでは、本日の議論の結果、さらに説明を求めたい点が幾つかあるかと思っておりますけれども、その内容について事務局から説明をお願いいたします。

○佐々木規格調整官 原子力規制庁、佐々木です。

まず、4206のほうですけれども、今までいろいろなデータですとか、説明をしていただいたというふうに理解しています。

いただいたものをもう一度よく検討して、脆性遷移曲線については技術評価の案を御提案できるような形で取りまとめたいと思いますけれども、先生方よろしいでしょうか。一方で、今のラウンドロビンに関する笠田先生の御発言は考慮できるようであれば、検討いただきたいと思います。

それから、もう一つの4216のほうですけれども、今日御説明全部できなかつたんですが、今お配りしました資料の4-4のほうに、こういうことを確認する必要があるのではないかということで書いてありますので、可能な範囲で対応していただければというふうに思います。また、それ今日の議論としては、まずDC(T)とSE(B)については、根拠資料がもっとあると思うので、探していただけるというような御発言がありましたので、これについてはもう少し可能な範囲で提示していただきたいと思います。

それから、同様に7ページの試験片の個数についても、6個から8個、データとしてよいというような根拠となる技術的なデータがあるかもしれないので、探していただけるというような御発言がありましたので、これについても探していただけるというふうに思っております。よろしいですかね。多分、山本さんがおっしゃっていたと思います。探してみるということ。ないかもしれないということですね。それは探していただくということで。

それから、これは御質問じゃなかったかもしれないですけども、大畑先生から試験体の厚みについての御質問があり、非常に厚い場合の不均一な点についての御確認がありましたので、厚みに関する検討、厚みはどういうふうに考えていらっしゃるのかということも、もし可能であれば、一緒に御説明いただければというふうに思います。

申し訳ありませんが、後は資料4-4のほうを見ていただいて、私のほうでも紙に質問を起こしてお送りいたしますので、御準備いただければと思います。

○山中委員 そのほか、御質問、コメント等ございますか。よろしいでしょうか。

それでは、以上で本日の議論を終了したいと思います。

次回の第5回の会合は、2020年1月10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事務局から調整連絡をさせていただきます。

以上で第4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いたします。