

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6回会合

1. 日時

令和2年7月9日（木） 10：00～11：58

2. 場所

原子力規制委員会 13階会議室A

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構造健全性評価研究グループ
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6-1 「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 第六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6-2 「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に関する質問」に対する回答
- 資料6-3 破壊靱性評価に関連するNRCの最近の改正について
- 資料6-4 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 (JEAC4206-2016) 及び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 (JEAC 4216-2015) に関する技術評価について
(案)

- 参考資料 6－1 第5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 資料5－2に対するコメント
- 参考資料 6－2 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 第六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 6－3 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質問
- 参考資料 6－4 第5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 資料5－2（抜粋）

6. 議事録

○山中委員 それでは、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6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名の外部専門家の先生方及び2名の技術支援職員の方々に参加をお願いをしております。また、説明者として日本電気協会の方々に出席をいただいております。本日は、どうぞよろしくお願いいたします。

それでは、事務局から議事運営について説明をお願いいたします。

○佐々木調整官 原子力規制庁、佐々木です。

本日の会合ですけれども、新型コロナウイルス感染症対策のため、テレビ会議システムを用いて開催させていただきます。12の拠点と原子力規制庁を結んでおりますので、13拠点での実施となります。3名の外部専門家の方及び2名のJAEAの方もテレビ会議システムで参加いただいております。

本日の配付資料は、議事次第の配付資料一覧にて御確認ください。

なお、注意事項ですが、マイクについては、発言中以外は設定をミュートにさせていただくようお願いします。発言を希望する際は、大きく挙手してください。発言の際はマイクに近づく、音声不明瞭な場合は相互に指摘するなど、円滑な議事運営に協力をお願いいたします。発言する際には、必ずお名前を名乗ってから発言していただきますようお願いいたします。

いします。また、資料を説明される際は、資料番号及び該当ページが分かるように発言して説明をお願いいたします。

以上です。

○山中委員 それでは、議題に入る前に、前回の会合から半年を経過しておりますので、前回のおさらいを事務局からお願いいたします。

○佐々木調整官 原子力規制庁、佐々木です。

それでは、参考資料6-4に基づきまして御説明させていただきたいと思います。

参考資料6-4は、第5回の検討チーム会合のときにお示ししました資料5-2を抜粋したものでございます。この資料の中に、第6回会合で御説明をお願いしたいと電気協会にお願いした件が書いてありますので、これをおさらいすることによって御説明したいと思いません。

まず、参考資料6-4をめくっていただきまして、2ページになりますけれども、PTS状態遷移曲線の設定として、上のところに赤で書いてございますけれども、1次冷却材温度、圧力及び流量の過渡についての熱水力解析は、接液水の温度が1次冷却材の通常運転温度から安全注入水の水温まで瞬時に変化する、それから、圧力は事象発生直後に大気圧に変化するというふうに規定したことにつきまして、同じページの一番下に書いてございますが、一つは、従来、詳細評価だけだったものですが、一般評価を設けたことについて説明していただきたいということと、評価対象事象においてポンプ吐出圧力などがありますけれども、こういうものを考慮せずに、大気圧に変化するというふうな規定を置いたことについて、検討した内容を説明してほしいということをお願いしております。

めくっていただきまして、4ページになりますけれども、PTS状態遷移曲線の設定のうち、熱の解析条件ということで、応力解析にクラッドによる影響を考慮する規定を明記しております。これにつきましては、下の赤で書いてありますところの真ん中の段落、「しかし」のところがございますが、残留応力の算出には熱膨張係数や縦弾性係数等の各温度における物性値が必要ですが、こういった機械的特性については規定されていませんということで、一番下の丸にあります。応力評価にクラッドによる影響を考慮するに当たって検討した内容を説明してくださいということをお願いしております。

さらに、めくっていただきまして、6ページになりますけれども、上の赤いところに書いてありますけれども、PTS状態遷移曲線の仮想欠陥について、仮想欠陥の位置を炉心領域内表面からクラッド下に変更したということと、欠陥の方向を母材に対して軸方向、溶

接金属に対して溶接線方向というふうに決めましたということで、その下に表がございませぬけれども、従来は軸方向としたものを変更したというような改定になっております。

これにつきまして、7ページになりますけれども、赤で示してありますところの②の最後のところになります。規格の解説には、「一般評価に用いる最大仮想欠陥」というところに「溶接継手の残留応力の板厚内の分布を踏まえると、いずれの方向の欠陥の K_I 値が高めになるとは言えない」としているということで、この記載と欠陥方向の溶接線方向に変更した根拠との間は分かりませんので、技術的根拠を御説明してくださいということをお願いしております。

めくっていただきまして、8ページになりますけれども、今度は応力拡大係数の算出ということで、応力拡大係数の計算式に、これもクラッド下の欠陥モデルにするという変更を規定で行っています。

これについては、9ページのところにございませぬけれども、容器内表面のクラッドをPTS評価に考慮する上で、クラッドの機械的特性、クラッド厚さの設定方法、そういったものについて検討した結果を説明していただきたいということをお願いしております。

めくっていただきまして、10ページになりますけれども、今度は健全性評価の許容基準ということで、今までPTS状態遷移曲線と破壊靱性遷移曲線が交差しないことという規定でしたけれども、これを満足しない場合の規定が追加されておまして、いわゆる高温予荷重効果と言われております、冷却過程で応力拡大係数が単調減少している時間帯は評価対象から除外する。それでも満足しない場合には、容器の板厚内の亀裂伝播が停止することを条件にするという改定を行っております。

これにつきましては、めくっていただきまして、12ページになりますけれども、上のところに赤字で記載してございませぬけれども、これもクラッド付きの場合の照射材での検討内容について御説明いただきたいということをお願いしております。

ここまでが破壊靱性のJAEC4206になりますけれども、13ページからは、ちょっと飛ばさせていただきますまして、 T_0 の試験方法になっております。

13ページは、適用試験片ということで、こちらの資料では、めくっていただきまして、14ページのところで、K-S検定を行った結果を示していただきまして、データに有意な差はないという仮説が棄却できるというふうな御説明をいただきました。これにつきまして、さらに説明をしていただくようお願いしましたので、これも説明をお願いしようと思っております。

それから、めくっていただきまして、18ページになりますけれども、ワイブル分布の位置母数と形状母数ということで、こちらの議論をしましたときに、 K_{min} が $20\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ で、形状母数 b が4となるということについて、ラウンドロビンの試験をやっていますので、このデータでもって、これを満たしているかどうかは確認できるのではないかという御意見が会合のときにありましたので、それについて御説明いただくようお願いしています。

今日の説明依頼事項は、概ねこのような形になっております。

以上です。

○山中委員 それでは、参考資料6-4につきまして、御質問、御意見等ございましたらお願いいたします。いかがでしょうか。よろしいでしょうか。

それでは、引き続き、本日の議題に入ってまいりたいと思います。

原子力規制庁から、日本電気協会に対して説明の依頼事項を提示しております。質問に対する回答を資料6-1及び6-2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、資料6-1、6-2に基づきまして、説明依頼事項に対する回答をさせていただきます。

○廣田副主査（日本電気協会） 日本電気協会破壊靱性検討会の廣田です。

資料6-1に基づきまして、JEAC4206について六つ御質問を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、資料6-1ですけども、2ページになります。(1)としまして、PTS状態遷移曲線の設定方法についてJEAC4206-2007から2016の変更点を説明してください。その際、JEAC4206-2016における一般評価と詳細評価との対比を含んでくださいという御依頼になっています。

詳細は、3ページの表の形にまとめているんですけども、考え方、主な点について、2ページのところにまとめておりますので、御説明いたします。2016年版では、2007年版で不明確であった事項の明確化、それから実態に即したより精緻な評価の観点から、残留応力等の取扱い、破壊試験結果を踏まえた最大仮想欠陥、応力拡大係数の算出に際してのクラッドの効果の考慮、それから有限要素法解析による応力拡大係数の算出等について見直しをしています。また、一般評価におきましては、図1-1ということで、4ページ、5ページに示しておりました大破断LOCAが最も厳しいということ踏まえまして、簡易的に保守

的な評価を行う観点から、2007年版の大破断LOCAの過渡と同様に、原子炉压力容器内面の接液水が1次冷却材の通常運転温度から安全注入水の水温まで瞬時に変化して、圧力のほうは大気圧近傍まで変化するという過渡を評価対象事象としているということでございます。

○佐々木調整官 すみません、廣田さん、音声がちょっと聞き取りづらいので、もう少しゆっくりしゃべっていただいてもよろしいでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 分かりました。

続きまして、6ページですけれども、(2)です。RF4221のPTS状態遷移曲線の設定において評価対象事象では事故発生直後に大気圧に変化するとしても良いこととしている。一方で熱伝達率の設定では上向き自然対流と下向き強制対流を想定している。評価対象事象においてポンプ吐出圧力などを考慮せず、事故発生直後に大気圧に変化するとしても良いことについて検討した内容があれば提示してくださいということです。

御依頼事項、幾つか書いてあるんですけれども、まず、圧力を大気圧に変化するとしても良いということと、ポンプ吐出圧力などを考慮していないということについては、回答の上半分のところにまとめてございます。簡単に、箇条書きで(1)、(2)、(3)というふうに書いてありますけれども、まず(1)としては、非延性破壊が問題となる温度まで原子炉压力容器の温度が低下するのは、事象発生後数百秒以降となります。一方で、原子炉压力容器の圧力は事象発生後数十秒の時点で大気圧近傍まで低下すると。次に、(2)ですけれども、非延性破壊が問題となる時間、事象発生後数百秒の時点では、7ページに模式図が描いてありますけれども、ECCSからの注水によりまして下部プレナム及びダウンカマが満水となりまして、ダウンカマと炉心の水頭差によって炉心下向きの流れが形成されて炉心が冷却される、そのような状態になります。(3)といたしまして、ダウンカマ満水以上の余剰注入水は破断口から流出するということと、ポンプによりダウンカマ部が加圧されることはないということですので、ポンプ吐出圧力は原子炉压力容器内には負荷されないということになります。もう一個の熱伝達率につきましては、その下の段落に書いてございまして、原子炉压力容器内の1次冷却材に、低温の安全注入水が下向きに流入する場合を想定いたしまして、こういう自然対流と強制対流の共存の影響というものについては、強制対流の熱伝達率に対する増加率として考慮するということとしています。大破断LOCAの場合には、こういうような事象としてはないんですけれども、保守的な結果を与える、高めに増加率を考慮することで、熱伝達率は高めに算出されまして、保守的な結

果を与えること、それから、その他の事象においては、このような増加率を考えるとというようなことで、統一するという観点、それから2007年版の式をそのまま踏襲しているということです。

7ページの上にも書いてありますけれども、このような大破断LOCAの過渡、それから熱伝達率の取扱いについては、今回変更した部分はないと。

9ページに参りまして、(3)ですけれども、2016年版ではクラッド下に亀裂を想定することに變更されました。この評価のためにはクラッドの機械特性及びクラッドの厚さの設定方法、クラッド施工が母材に及ぼす影響、クラッド施工による残留応力の影響の情報が必要です。これらについて検討した内容を提示してくださいということです。

回答といたしましては、まず、クラッドを考慮した場合の応力拡大係数に関しましては、溶接残留応力の考慮方法、それからクラッドの機械的特性の変化の影響につきまして、文献[2]の中で検討がなされています。具体的に、それ以外の部分で説明しますと、まずクラッドの機械的特性については、ほかの規格も同様なんですけれども、規格上明記していないということです。ただ、クラッドの材料自体はSUS 304系ステンレス鋼ですので、一般的には、機械的特性としてSUS 304の機械的特性を使用するものというふうに考えています。クラッドの厚さについては、これもほかの維持規格とか設計・建設規格と同様に、規格上明記はしていませんけれども、設計寸法等を踏まえて解析者が適切に設定するものというふうに考えてございます。それから、低合金鋼内面にクラッド溶接を施工した場合の影響ということで、溶接熱影響部、それから溶接残留応力という観点で、それぞれその下に書いてございます。溶接熱影響部につきましては、監視試験の結果、それから溶接協会の9HST小委員会で破壊靱性データ、破壊靱性が取得されておりますので、その結果から母材で代表できるというふうに考えられます。これらのデータは、継手溶接の熱影響部ではありますけれども、クラッド溶接による溶接熱影響部も基本的には同様の傾向だというふうには考えてございます。それから、溶接残留応力につきましては、文献[4]、それから文献[5]におきまして、解析的な検討、それから実験との比較において検討がされておまして、これらの知見が評価に適用できるというふうに考えてございます。

なお、ここではクラッドの影響ということで御質問があるんですけれども、そもそも欠陥の想定というのは、実際に存在する欠陥は内部欠陥と考えられるんですけれども、熱応力、破壊靱性の観点で厳しくなるように、評価上の取扱いとしてクラッド直下に欠陥を想定したものでありまして、保守性は確保されているというふうに考えてございます。

それから、10ページ、11ページは、詳細は省略いたしますけれども、クラッド溶接部の材料特性についてということで、化学成分、それからクラッド溶接部に対する引張特性を取得されたデータがございましたので、参考にお示しをしているというものでございます。

12ページが(4)でして、詳細評価における仮想欠陥の方向について、周方向の溶接に対して軸方向の欠陥を想定しなくても良いとした理由を提示してくださいということです。

まず、第1段落目ですけれども、溶接金属で同様の欠陥が生じるかということが書いてございまして、もちろん溶接施工に当たりましては、溶接材料、母材の材質管理、それから予熱等の施工管理を行っていますので、割れが発生している可能性は十分小さいというふうに考えてございまして、欠陥が存在しているとしても、ブローホールとかスラグ巻き込みのような体積を持つ微小な欠陥が溶接線方向に分布しているというふうに考えられます。また、このようなことは、米国でも、運転供用前にキャンセルされた2プラントを対象に、破壊・非破壊検査による調査が行われておりまして、調査の結果、欠陥の主要因は溶接開先面近傍の融合不良でありまして、溶接線方向に平行な欠陥であるという判断がなされておりまして、いろんな欠陥を想定して、ばらつきを含めた欠陥を想定して評価する確率論的破壊力学の中では、溶接線方向に垂直な欠陥は想定せずに、溶接線方向に平行な欠陥のみを対象としているというような知見もございます。一方で、今回、2016年版におきましては、溶接残留応力を考慮して評価をするというふうにしましたけれども、13ページにグラフがございまして、周方向というか、溶接線方向に垂直、あるいは並行のどちらが溶接残留応力が厳しいというのは、ちょっと言い難いということがございまして、保守的に、欠陥の方向を決定するというようなことは難しいような状況になっています。したがって、詳細評価においては難しいという状況にございます。したがって、1段落目、2段落目に書いたような、欠陥の性状というものを考慮しまして、溶接線方向の欠陥を想定したということでございます。

続きまして、14ページですけれども、(5)といたしまして、高温予荷重効果に関して、クラッド下の欠陥や照射材への適用性について検討した内容があれば提示してくださいということです。

文献 [11] には、高温予荷重効果の現象として、(1)、(2)、(3)という三つの機構によって生じるものというふうに考えられています。(1)は、高温における予荷重によりまして、亀裂先端前方は加工硬化されるんですけれども、その後、低温で降伏点が上昇すると、転位が不活性の状態となるということが一つ、(2)といたしましては、亀裂先端が鈍化す

るといふ影響、(3)は残留応力、これら三つの観点で高温予荷重効果が生じるというふうなことが言われています。これはクラッド下の欠陥や照射材であっても生じるものというふうにご考えてございまして、基本的には、クラッド下の欠陥や照射材にも適用可能というふうにご考えてございます。これらにつきまして、実験的に確認された事象といたしましては、文献 [12]、[13]、[14] というようなところで確認されているということです。

最後に、(6)といたしまして、亀裂伝播停止に関して、照射材への適用性について検討した内容があれば提示してくださいということです。

照射材に対する亀裂伝播停止特性につきましては、文献[15]で検討されています。この中では、照射前後の破壊靱性、それから亀裂伝播停止破壊靱性データが取得されておりました。非延性破壊の発生に対するマスターカーブの参照温度 T_0 、破壊靱性が高温側になることということは、低くなるほど T_0 と亀裂伝播停止破壊靱性遷移曲線の参照温度、これは T_{KIa} と呼んでおりますけれども、 T_0 と T_{KIa} の温度差は小さくなる傾向が示されています。これは文献[16]や [17] でも式の形で現されておりました。一般的に知られているということでございます。すなわち、照射による RT_{NDT} の上昇に応じて非延性破壊に対する破壊靱性遷移曲線が高温側に移行することになるんですけども、亀裂伝播停止破壊靱性遷移曲線の上昇量というのは、非延性破壊に対する破壊靱性の上昇量よりも小さいということになりますので、未照射材を対象として設定された亀裂伝播停止破壊靱性遷移曲線を照射材に適用すれば保守側の評価が行えるというふうにご考えてございます。

資料6-1については以上でございます。

○山中委員 以上でしょうか。

資料6-2はいかががでしょうか。

○山本委員（日本電気協会） では、引き続きまして、資料6-2について説明させていただきたいと思っております。破壊靱性検討会の山本でございます。

声は聞こえているでしょうか。

○山中委員 大丈夫です。

○山本委員（日本電気協会） では、資料6-2でございますが、JEAC4206-2016、また、4216-2015に対しまして、4206については一つ、それから4216については三つの説明依頼事項をいただいております。また、第5回会合における宿題事項が、説明依頼事項にはございませんでしたが、第5回会合における宿題事項があったと思っておりますので、それについて説明を加えております。それを3としております。

ページ数でいきますと、3ページを御覧いただければいいんですが、まず一つ目、JEAC4206-2016に対する説明依頼事項でございます。「RF-2100 関連温度(RT_{NDT})」に規定する(2)式の σ_{T_0} 算出式において、分子側の20は定義値なので有効桁数は関係ないけれど、14.7は3桁であると。分母側の30は2桁で、算出値であって、小数点以下第1位表示としたほうが適切ではないかということでございます。(2)式というのは、マージンを設定している σ_{T_0} の式でございます。

回答でございますが、第4回検討チーム会合の資料4-3、回答(4)で、JEAC4206-2016に採用した当該式の考え方が、まず、ASTM E1921と同様であることを示しております。ASTM E1921の技術根拠資料[1]によれば、そのAppendix B.5 Margin Adjustmentに関連する記載がございます。ここでは、分子の20は破壊靱性の下限値 K_{min} として定義されている $20MPa\sqrt{m}$ 、それから分母の30はマスターカーブの温度依存性曲線、そこに示してあります $K_{Jc(med)}=30+70\exp[0.019(T-T_0)]$ という式でございますが、この右辺第1項の30でございますので、 $30MPa\sqrt{m}$ でいいということが分かります。ただし、この式の導出では、式(2)の導出過程におきまして、次にありますような $\Gamma(1/b+1)\{\ln(2)\}^{1/b}$ 、これを1に近似するという近似がなされております。この近似の有無による σ_{T_0} の算出結果というものを図1-1に示しております、これを御覧いただきますと、青い実線が近似をしたもの、JEAC4206の σ_{T_0} の式、それから、破線が近似をしないでそのままこの式を解いたものでございますが、ほとんど差がないということがお分かりいただけるかと思えます。また、分子の値「14.7」は、その次に示す式でございますが、「14.7」で問題ないということがお分かりいただけるかと思えます。

次に、JEAC4216に対する質問三つのうちの一つ目でございます。ページ数としては、5ページでございます。Mini-C(T)試験片と4T-C(T)、2T-C(T)、1T-C(T)、0.4T-C(T)試験片から得られる T_0 の同等性について、2標本のコルモゴロフスミルノフ検定以外に行った検定があれば、その内容を説明してくださいということでございますが、あいにく、この検定以外に行ったものはございませんので、回答としては「特にございませぬ」としております。

次でございますが、ページでいきますと、6ページでございます。検討チーム会合資料5-2、85ページの「図4.2.10-2複数試験温度法(mlt.)と単一試験温度法(sgl.)の参照温度評価結果比較」は同会合資料4-3の図6-2から転載したのですが、出典の文献によると材料は鍛鋼品SFVQ1A鋼のもので、鋼板材SQV2Aについてのデータがあれば提示してくださ

いというものでございます。

これについては、JEAC4216-2015から技術根拠論文として引用されている公開文献[2]に、SFVQ1Aと共に2ヒート分のSQV2Aのデータも記載されております。これを図2.2-1として転載しております。

次のページに行ってくださいまして、上記の3材料について個々の試験温度別に T_0 を評価した結果は文献[3]に示されております。これを図2.2-2に示しております。SQV2AのHeat2では、0.4T-C(T)の試験片で試験温度が -80°C の場合、この単一試験温度法による評価の結果が平均的な値より 20°C 程度、また0.4T-C(T)試験片の複数試験温度法の値から比べますと 9°C 高い値となっています。0.4T-C(T)試験片について、単一試験温度法の結果、試験温度でいきますと -80°C 、 -100°C 、 -120°C 、 -140°C でございますが、これらの結果を比較しますと、温度の変化に対して系統的な T_0 の変化というものではなく、データセットごとの評価結果の分布において、試験温度が -80°C のデータセットでは破壊靱性の低い試験結果が得られたものであろうというふうに推察いたします。

次のページに行ってくださいまして、なお書きでございます。なお、マスターカーブ法における一般的な傾向としましては、 $T-T_0$ が高く、 $K_{Jc(limit)}$ を上回る無効データが多い場合、少ないデータ点で T_0 の推定を行う、それから、もう一つはワイブル分布の中央から離れた裾野のデータからカーブ全体の推定を行うということになりますので、より低温で試験をする場合と比べて個々のデータ点の影響を受けて評価値が揺らぐ可能性があります。図2.2-3は一例として、ある圧力容器鋼（非照射）のマスターカーブと0.4T-C(T)試験片に対する $K_{Jc(limit)}$ を示しております。 $T-T_0$ が高い場合には得られた破壊靱性データの多くが無効データとなるものと推測されます。文献[3]の著者は、広い温度範囲におけるマスターカーブ法の成立性を評価するために、あえて広い温度範囲を選んでデータを取得したものであるというふうに思われます。しかし、実際の評価では、より精度の高い評価結果を得るために、無効データが大きな割合を占めないよう比較的低温側の試験温度を選ぶものと思われます。

次に、ページ数でいきますと、9ページでございます。質問の番号としましては、4216の(3)番でございます。ワイブル分布の位置母数 K_{min} の根拠について、検討チーム会合の資料4-2、12ページ「位置母数（固定：最小破壊靱性）の根拠」の左の図で、実験事実の積み上げに基づき $20\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ としています。Mini-C(T)試験片を用いた破壊靱性評価ラウンドロビン試験のデータを使った場合の傾向を示してくださいという依頼事項でございます。

これについては、Mini-C(T)試験片によるラウンドロビン試験——これは文献の[4]に示すものですが——では、単一の試験温度、同一の材料（SFVQ1A）について、大変多くの試験データが取得されておりますが、同文献中には K_{min} の傾向を示した結果は報告されておられません。この資料に示しました図2.3-1は、文献[4]の主著者による参考図、この会合のために作った参考図でございます。試験で得られた破壊靱性を横軸、それから、ワイブル指数を4とした場合の破壊靱性の分布を縦軸というふうにしております。同図中で有効データの○印が直線上に並ぶということは、ワイブル指数が4であるという仮定にデータセットが従っていること、また、座標の(20, 0)、横軸上の20の位置を直線が通ることについては、 $K_{min}=20\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ の仮定にデータセットが従っているということを意味しております。図2.3-1では、有効データである○印が座標座標(20, 0)を通過する直線、これは青い実線で示しておりますが、これに沿う傾向を示しております。Mini-C(T)試験片によるデータセットについても $K_{min}=20\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ の仮定が良好な近似を与えるというふうに言えます。

なお、本回答の内容は、先ほど御説明しましたとおり、この会合のために作った図でございますので、論文に載っているものではございませんので、JEAC4216の技術根拠資料として引用しているものではございません。また、本回答2.(3)の有無がJEAC4216の信頼性に影響を及ぼすこともないものというふうに考えております。

次のページ、10ページでございますが、これは第5回会合における宿題事項でございます。DC(T)試験片でマスターカーブ法により T_0 評価を行った事例があれば示してくださいというものでございます。

米国のB&W社がJ-R特性を取得するための監視試験片としてDC(T)試験片を採用しています。同試験片によるマスターカーブ法評価結果は文献[5]にございます。ここでは照射された溶接金属についてマスターカーブ法評価がなされております。文献[5]ではDC(T)試験片は特段のバイアスの考慮なく扱われているようでございます。ハイライトになっているものがDC(T)試験片でございます。

説明は以上でございます。

○山中委員 それでは、資料6-1、6-2について、御質問、御意見等ございましたら、お願いいたします。いかがでございますか。

笠田先生、どうぞ。

○笠田教授 ありがとうございます。

資料6-1のほうなんですけども、回答の(2)のほうですね、ちょっと今回、外部専門家、材料とか破壊とかの専門家ばかりで、この辺の熱伝達の専門家がないので、ちょっとこの辺、聞いていて、ああ、そうなのかとしか言いようがないんですけど、ただ、ちょっと1点気になったのは、私のような素人でも思ったのが、この高温・高圧のものが、高圧水が瞬時に大気圧に変化するという仮定だと、普通、水って沸騰しちゃうんじゃないかなと思って、そういう状態でこの評価が成立するものなんですか。ちょっと素人質問で申し訳ないです。

○廣田副主査（日本電気協会） 破壊靱性検討会の廣田です。

沸騰の、あることはあるんですけども、これはもう本当に瞬時に壊れますので、熱伝達というのは若干高めになったりはするんですけども、そういう影響は、もう数百秒という時点では全然関係ないというふうに考えてございます。

○笠田教授 それは、こういった検討のときは、結構一般的な仮定の仕方なんですか。

○廣田副主査（日本電気協会） 一般的というか……。

○笠田教授 すみません。素人で、ちょっと分からない。

○廣田副主査（日本電気協会） 基本的には、なかなか原子炉容器が冷える、脆性破壊の時点まで時間がかかるもので、やっぱり数十秒とかというところ、圧力もそうですけども、数十秒とかというところをあまり厳密にやっても、もう全然効かないので、圧力とか熱伝達率ですね、そういうので、もう簡易的に評価するという意味では、一般的と言うかどうか分かりませんが、合理的に評価できるんじゃないかなというふうに考えております。

○笠田教授 ありがとうございます。

以上です。

○山中委員 そのほかいかがでしょうか。

沖田先生、どうぞ。

○沖田准教授 東大の沖田でございます。

まず、3点質問させてください。

まず1点目は、資料6-2の2. (2)ですね、前回、私が質問させていただいたところがございます。確かに私の言い方も、非常に、前回の質問は言い方が不適切であったところもあると思いますので、その点に関してはお詫び申し上げます。これ、結局SQV2AのHeat2で、結局、この方法ですと、これぐらいの誤差が出てしまうんですよね。これは、例えばほかの文献を持ってきて、こういうデータがあったとかと言っているのではなくて、この規格

に載っている、同じページに載っている同じデータでこれだけの差があったわけなんですよ。それが規格として、こういうのをちゃんと取り入れていないというのは、ちょっと私、少し問題ではないかと思うんですが、いかがでしょうかね。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会の山本でございます。

一つ一つをお答えすればよろしいでしょうか。三つ御質問があるとおっしゃいましたが。

○沖田准教授 別々に答えていただければ非常に助かります。

○山本委員（日本電気協会） 分かりました。

SQV2A、SFVQ1Aのこの結果については、もちろん技術根拠資料として載せているわけですが、JEAC4216が、これがあるから成り立っているというふうに言っているものではございません。これはもちろん一つの例として、きちんと引いているわけですが、これが、このデータそのものをフォローすることがJEACの本分ではないというふうに考えております。SQV2Aに関しましては、申し上げたとおり、 -80°C のデータについては、確かに少しイレギュラーな値となっているということが確認できましたので、そのようにお答えしております。

○沖田准教授 分かりました。では、試験データ、温度に関しても、次、なお書きがされていますが、それも取り入れて、ちょっとこの辺変えていただければと思いますので。いかがでしょうかね。

○山本委員（日本電気協会） 変えていただければというふうにおっしゃっているのは、どういったことでしょうか。

○沖田准教授 このデータ、試験温度、この温度は適切……、こういう温度ではしない可能性が高いわけですよ。

○山本委員（日本電気協会） 現実的には、無効なデータがたくさん出るような温度域では試験はしないと思いますが、マスターカーブ法では許しております。それはなぜかといいますと、例えば試験片の数が100個、200個あれば、 $+50^{\circ}\text{C}$ に近いところでやっても妥当な結果が得られるということが理屈上分かっておりますので、そういうことになっております。4216というのは、例えば試験片が10個とか12個とかしかありませんといったような、限定をしたものではなくて、試験規格でございますので、 $\pm 50^{\circ}\text{C}$ という規定で問題はないものというふうに考えております。

○沖田准教授 分かりました。

次の質問をちょっとよろしいでしょうか。

資料6-1について言わせてください。クラッドの件、クラッドの(3)ですね。今回、クラッドの特性として、機械的特性を304で使用するということでしたが、クラッドは、もう一つ、技術評価書にも書いてありましたが、機械的特性以外に熱伝導特性も影響を及ぼすと思われます。その場合、多層溶接したクラッドに対して、通常の304と同じような熱伝導特性を使っているのか。そして、この照射の影響というの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） 破壊靱性検討会の廣田です。

まず、多層溶接ということではないです。熱的な特性も、必ずしも溶接金属で取得されているということではないんですけども、部材、規格上、まず明記はしていないんですけども、SUS 304を使うとか、明記はしていないんですけども、通常は、やはりSUS 304と同等の熱伝導特性を使うものだろうというふうに思います。それはその場でちょっと判断になるかもしれません。

それから、照射による影響につきましては、9ページの2段落めの後半に書いてあるんですけども、まずは文献 [3] におきまして、照射前・照射後のクラッドの機械的特性が取得されておりまして、照射されますと、やっぱり硬くなります。クラッドは硬くなります。引張特性が硬くなるわけですけども、これの影響については、文献 [2] というところで検討がなされておりまして、やっぱり硬くなりますと、クラッド下の欠陥に対して、亀裂の開口を抑制する効果が高まりますので、基本的には、柔らかいクラッドの材料を使ったほうが、 K_I としては高めの評価になりますので、やはり照射材に対しましても、照射前のクラッドが引張特性を使用すれば、高めに保守的な評価が行えるということが文献 [2] で示されています。そのような状況になります。

○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。

今お答えいただいたのは、照射による機械的特性の影響だと思うんですが、熱のほうです、熱伝導のほうについては影響はないのでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田ですけども、そういうようなデータは、確かにちょっと熱的な、ちょっとすみません、私自身は見たことはないんですけども、変わる要素があるかどうかとか、変わる因子があるかどうかというようなことになるかもしれませんが、同等で考えるのが普通とか、なるかなと思いますけど、規格上は、そこまでは明記はしていません。

○沖田准教授 東大の沖田でございます。

影響があるかどうかは別にして、電気伝導は照射によって変わるんですね。そうすると、熱伝導も変わると考えるのが通常かなと考えられると思うんですよ。

○廣田副主査（日本電気協会） 破壊靱性検討会の廣田ですけども、ちょっとその辺のところあれば、また検討させていただきたいと思います。

○沖田准教授 分かりました。

最後に一つ質問させてください。資料6-1の(6)でございます。亀裂伝播停止についてなんですが、 K_{Ia} ですね、この K_{Ia} が規格の15ページに載っておりますが、これ、ちょっとここからは興味もあってお伺いするんですが、20年前のよくリファレンスされているKim Wallinの論文、リファレンスされていますが、これを読みますと、 K_{Ia} として1%信頼下限を用いてはどうかという話も、ちょこちょここと当時から言われていたんですよ。今回、 K_{Ic} で5%信頼下限を用いることとの整合性で考えると、 K_{Ia} を1%信頼下限で評価するという方向性はないのでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田ですけども、すみません、20年前、そういう論文というか、それがあったこと自身は、私はちょっと承知はしていないんですけども、今、 K_{Ia} としては、従来から、世界的にも広くというか、ASMEの K_{Ir} カーブというのは昔からありまして、未照射材のデータベースに基づいたカーブです。それは破壊確率とか、そのような、何%信頼限界とか、そういうようなカーブにはないです。 K_{Ia} のやはり破壊、まだ、マスターカーブとか脆性破壊の発生に対する破壊靱性データは、破壊靱性データのばらつきについては、それなりにいろいろ検討はされているんですけども、やはり K_{Ia} のほうは、ある程度、整理されつつあるんですけども、まだそこまで共通認識というところは、マスターカーブに比べると、まだかなという感じもちょっとしますので、現状は2016年版、JEAC4206-2016年版では、従来の K_{Ia} を使おうというふうに判断をしたところですので、将来的には、 K_{Ia} として何%を使うかという議論にもなってくるかと思うんですけども、今、現状は、そういうようなところでございます。

○沖田准教授 分かりました。

私からは以上です。ありがとうございました。

○山中委員 それでは、大畑先生、よろしく申し上げます。

○大畑教授 阪大の大畑です。

資料6-1のほうのクラッドに関するところなんですけども、基本、クラッドの厚さに関

しては、解析者、評価者が設計寸法等を踏まえて設定するという事は結構だと思うんですけど、厚さが変わったときのK値の解というのは与えられていると思ってよろしいんですかということと、仮にFEM等で解析者が実際に解析して求めようとしたときに、クラッドの機械的特性といっても、弾塑性特性までが必要になるかどうかというところをちょっとお伺いしたいんですけども。よろしくをお願いします。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

まず、JEAC4206-2016年版は、一応、二つの方法で K_J 、応力拡大係数 k を評価できることになっています。一つは、クラッドの効果を考慮した、フランスで開発された試験になります。その中では、まず一つの御質問は、クラッドの厚さを考慮できるかということですけども、一応、それは考慮した形で K_{Ic} は評価できるというふうになっています。

もう一つは、もう一つの方法として、FEM解析（有限要素法解析）で求めてよいというふうにしています。その際には、亀裂をモデル化して、直接、J値からK値に換算するというような方法になります。ここでクラッドを含めて有限要素法解析をしますので、クラッドにつきましては、あまり規格上明確には書かれていない、有限要素法解析ということぐらいしか書かれてはいないんですけども、クラッドのちゃんと効果を考慮してやるのであれば、弾塑性ベースの応力優先図を使って評価をするということになります。

御質問については、以上でよろしいでしょうか。

○大畑教授 ありがとうございます。阪大の大畑です。

クラッド部分が塑性化するのかなと。そうすると、やっぱりそういう弾塑性挙動もしっかりと捉えて計算していただきたいというような記述が必要なのかなという気がしたんですけども、クラッドの有無は、弾性変形だということであれば、大体使えるSUS 304ということであれば、ヤング率程度与えることでいいので、それほど苦にはならないのかなというふうに思った限りです。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

御指摘のとおりで、クラッドは、製造中にクラッド溶接をして、あとPWHT、溶接高熱処理もするんですけども、やはり一旦は降伏します。一旦は降伏しますので、やはりそういうような挙動をちゃんとというか、考慮して、弾性ベースでは駄目で、弾塑性挙動を模擬した応力優先図を入れてやらないと、ちゃんと評価はできないというふうには思います。

○大畑教授 阪大、大畑です。

どうもありがとうございます。分かりました。

○山中委員 そのほか御質問、御意見等ございますでしょうか。

どうぞ。

○遠山課長 技術基盤課の遠山です。

先ほど、たしか笠田先生が御質問された資料6-1の(2)番、6ページですが、議論の中で少し私なりの理解が合っているかどうかなんですけれども、事故が発生した直後、これは大LOCAを仮定しているということなんです、大気圧に変化するとしているのは、ポンプによる加圧が起きていないということは、破断口からの流出で納得できると思うのですが、むしろ大気圧に低下するというのは、この回答の(1)にありますように、現実には原子炉容器の温度が下がってくるのにはかなり時間がかかると。この非延性破壊の問題となる温度まで下がるのには時間がかかる。数百秒ぐらいかかる。一方、原子炉容器の中の圧力は、すぐに大気圧近傍まで低下しますということで、むしろ非常に評価としては簡略な評価をしているので、保守的な条件を課しているんですということなのかなと理解をしたんですけども、それでよろしいでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

御指摘のとおりというふうに考えております。

○遠山課長 ありがとうございます。

○山中委員 そのほか御質問、御意見等ございますでしょうか。

鬼沢さん、どうぞ。

○鬼沢センター付 JAEAの鬼沢です。

資料6-1の13ページなんですけれども、残留応力の解析結果がグラフとして載っておりますけれども、これは参考文献というものはあるのかというのが一つと、それから、このとき、横軸、内面からの距離とあって、0から左のところはクラッドの特性なのかなと思うんですけども、クラッドの特性については、どういう値が使われたのか。例えば照射によって、それが硬くなったときにも、それほど右側の残留応力分布に影響はないのかという、その辺がちょっと知りたかったんですけども、分かる範囲で教えていただけませんか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

まず、13ページのグラフは、どこかで発表したものということではなくて、破壊靱性検討会の議論の中で、こういうような詳細を見てみようということになりましたので、分析したグラフになります。ですので、どこかで発表した論文からの引用ではないということ

です。

それから、クラッドの特性につきましては、特に照射材の特性ということではなくて、非照射材の特性として解析をしているものでございます。

○鬼沢センター付 分かりました。そういう意味では、図4-1の解析方法などについては、何か証明できるものというのが、例えばほかの文献と同じやり方であるとか、何かそういうことというのは説明していただけるんでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

解析方法は、文献 [4] の中で残留応力解析をやっております、ここでは周方向だったか、どちらか、周方向と軸方向について、13ページは両方載せていますけれども、片方の継手について解析した結果を文献 [4] で示しております。それと同じ要領で、もう一方の継手について解析したものですので、基本的な解析条件、手法については、文献 [4] で検討したものと同一になります。

○鬼沢センター付 分かりました。ありがとうございます。

ということは、文献 [4] で対象としている溶接の方法、それに基づくことになると思うんですけど、それは国内の原子炉容器の溶接の代表的な方法だとか、そういうことでよろしいでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

文献 [4] にも記載しているんですけども、PWRプラントの継手溶接の条件がありまして、この中では、溶接側に応力が高めになるようにということで、溶接条件、いろんな条件がありますけれども、基本的に残留応力が高くなるような条件を選定というか、設定して解析をしたものになります。

○鬼沢センター付 分かりました。ありがとうございました。

○山中委員 そのほかいかがでしょう。

よろしいでしょうか。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

資料6-1の10ページに、材料特性の表が載っているんですけども、材料特性という意味では、例えば、メーカーからミルシートを出してもらおうというような形で、把握することができると思うんですけども、クラッドの厚さについては、規制要求上は、測定するときがないというか、測定が規定されていないと思うんですけども、どういうときに測ったどういう値を用いるのかがちょっと私には分からないので、教えていただけないでしょう

か。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

ちょっと規格上は明記していないんですけども、実際に評価する段階では、当然、設計寸法や、図面上の寸法もございますし、それから、実際の原子炉容器の製作に当たっても、クラッドの厚さって測って、大体測っているはずなので、それを使えば、評価には使えるんじゃないかな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。

じゃあ、製造時にデータを取ったものを用いるということ想定しているという、そういう意味でよろしいでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田ですけども。

規格上は明記していないので、想定しているかということ、設計寸法を使ってやるやり方も別に否定はしないんですけども、測定寸法を使って、評価するというのも十分できるというふうに、十分できるというか、そういうことも想定しています。想定しているかと言われると、想定して規格をつくっていると。

○佐々木企画調整官 分かりました。規格に書いていないのは知っていますので、実際にPTS評価をこういうふうにやりましたという説明をされたときに、何をどの値を使うのが正しいというか妥当だと判断するのかなと思ったので、ちょっと確認しました。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。

よろしいでしょうか。

特段、御意見が追加でないようでございますので、それでは、資料6-3、6-4に基づいて、佐々木企画調整官より技術評価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、佐々木です。

まず、資料6-3でございますけれども、第5回会合を開催しましてから現在までの間に、米国のNRCが破壊靱性評価に関連する改正を幾つか行いましたので、それがどのようなものかということと今回の技術評価との関係について、整理させていただこうと思ひまして、おつけしたものです。

今の電気協会の説明とは直接関係いたしません、先に説明させていただきたいと思ひます。

まず1ポツですけども、おさらいになりますけれども、日本においては、材料の破壊

靱性は設計・建設規格で用いられる温度・圧力の条件の設計に用いられまして、運転時の機器の温度・圧力制限はJEACの今回技術評価した4206で、維持段階における欠陥評価は維持規格で、PTS評価については同じこのJEACで使われているという関係があります。

米国の場合は、同じように使われていますけれども、加圧熱衝撃、PTS評価だけは破壊靱性を用いずに、関連温度の上昇の制限値により、規制しているということで、これについては、この代替規定等もありますけれども、やや複雑な体系で評価されているというものでございます。

ASMEのSec. XIの主要機器の破壊防止のための破壊評価力学が規定されてからは、材料特性として、この破壊靱性が広く参照されてきているんですけども、我々が調べた、認識している範囲では、当初の遷移曲線 K_{Ic} 、 K_{Ia} ですけども、これが設定されてからも、欠陥評価、こちらに用いる破壊靱性については引き続き検討がされていて、マスターカーブ法が導入されるというふうになってきているという、その経緯が先ほどの文献に示されております。

この導入には、2ステップを踏んで行っていますということで、第1ステップとしては、Code Case N-629として破壊靱性曲線のそれぞれの関連温度をマスターカーブ法の参照温度 T_0 で表す。つまり、 RT_{NDT} を RT_0 で表現するようにできるというステップがありまして、第2ステップとして、Code Case N-830として、欠陥評価に用いる K_{Ic} 曲線の代わりに、マスターカーブ法の95%下限曲線を用いるということが規定されてきています。今回は、この後段のN-830のほうについて、NRCがいわゆるエンドースをしましたので、それについて、次の2ポツから御説明したいと思います。

まず、こちらの2.1に書いてあります破壊靱性値へのマスターカーブ法下限曲線の適用という点について、3月16日に公表されたRegulatory Guide 1.147というものに規定されております。このCode Case N-830は、この下のほうの四角の中に記載してございますけれども、ASME Sec. XIのAppendix A、これは欠陥評価ですけども、これとAppendix Gの K_{Ic} の代わりに、マスターカーブの K_{Jc} 95%下限曲線を用いてもいいというふうなものでございます。

もともとのこのCode Caseは、低温域では K_{Ic} を適用するという条件がついていましたけれども、NRCはこの条件を適用せずに、全ての温度域でマスターカーブを使うようにというふうに条件をつけています。その理由として、NRCは-115° F、温度単位がちよっと違いますけれども、これ以下では、 K_{Ic} のほうが K_{Jc} 95%リミットよりも非安全側になるからとい

うふうな理由を記載しています。

めくっていただきまして、3ページに行きますけれども、四角の下のところに、マスターカーブをエンドースした理由として、NRCは、英文で書きましたけども、このように書いておりまして、ASMEの K_{Ic} カーブは、大体、マスターカーブの95%信頼下限とほぼ同じになるからという理由が記載されております。

なおですけれども、この規格ですけれども、現在、改定の検討が行われているということを知りまして、この回答の中には、 K_{Ia} 曲線を用いるということが提案されているというような状況でございます。

次に、2.2として、今度は、破壊靱性 K_{Ia} の関連温度 RT_{NDT} への参照温度 T_0 の適用ということで、このASME Sec. XIのAppendix Aには、Code Case N-629と同様に、破壊靱性曲線の関連温度をマスターカーブの T_0 で置き換えられるような規定がされておりました。

四角の中にごさいますけれども、ASME Sec. XIの2013年版が現在、エンドースされていますけれども、この中で、 RT_{T_0} は $T_0+35^\circ F$ という形で規定されておりました。NRCは、2015年版の技術評価の際に、 $RT_{K_{Ia}}$ については、この式が間違っているので、今、四角の中の2017年版の一番下の式がありますけれども、この式を適用するよという条件がついておりまして、2017年版でこの式が取り込まれたというものでございまして、これが新しく2017年版がエンドースされたときに、これは導入されているということになります。こちらは、5月4日の官報で報告されております。

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、2.3、監視試験計画に関する変更ということで、これが5月8日にNRCスタッフが文書を作成しておりまして、米国の規制において、監視試験計画を規定しております10CFR50 Appendix Hというところがございまして、これの一部改正案をNRCに現在提案しているというものでございます。

簡単に御紹介しますと、一つ目は、溶接熱影響部の試験片ですけれども、これはオプション扱いとしますということで、理由につきましては、シャルピーの試験結果にばらつきが大きいことと、HAZは破壊靱性がいいので、健全性評価には役に立たないから、オプションとしますというふうな見解が書かれております。

二つ目は、監視試験プログラムで要求された引張試験片ですけれども、試験片の数を減らしていいという、室温及び運転温度で1個ずつやればいいですよというふうな規定にいたしております。

これは5ページめくっていただきまして、理由というところに書きましたけれども、引張試験要求がありますけれども、実際には健全性評価に使われておりませんので、そういう理由だというふうに記載されています。

3番目に、Correlation monitor materialという材料が入ってまして、標準試験片みたいなものですが、これはオプション扱いにしますということで、これは従来よりやらないといけないものなのか、オプションなのかがちょっと明確にしていけないので、明確にしましたというふうになっております。

それから、次に、温度モニターもオプションにするということで、現在の温度モニターは連続記録も取れませんし、そんな高温になったときしか分かりませんので、健全性評価では使っていないということで、その温度自体もプラントモニターから評価できるので、オプション扱いにするというふうになっています。

5番目に、試験結果の報告期限を18か月以内と。これは、新しい難しい状況になっている、1年以内に報告するのは難しいということなので、長くしたというふうな形でございます。

6番目に参照としているASTM-E-185の年版が規定されていなかったもので、明記しましたというような内容になっています。

これは、電気協会の同じ規格で4201、原子力構造材の監視試験方法に関連するものですので、ちょっと今回の改正とは関係ありませんので、今後、技術評価するときに検討したいと思います。

今申し上げました内容からしますと、私どもの技術評価の内容について、影響を与えるようなエンドースの理由というのはなかったというふうに考えますので、御報告とさせていただきます。

続きまして、資料6-4に基づきまして、技術評価の概要について、今日御説明いただいた部分について、御説明したいというふうに思います。

資料6-4のまず18ページを御覧ください。これは運転条件について、先ほどから議論しました圧力が瞬時に大気圧になるとか、そういった危険に関するところでして、めくっていただいて、19ページのところに赤く塗ってございますけれども、その段落のところ、今御説明いただいた内容については、工学的に妥当というふうに思われますので、この改定については妥当というふうに判断したいというふうに考えます。

同じ19ページの下のところ、4.1.8としまして、PTS状態遷移曲線の設定のうち熱伝導

解析と応力解析について記載されておりますけれども、こちらについても、クラッドの考慮について説明していただきました。

20ページの下のところは赤で記載しておりますけれども、電気協会に説明していただきました内容を記載しております、国プロですとか海外への研究とか、いろいろありまして、その結果を用いて、クラッド溶接した原子炉圧力容器鋼を用いて、残留応力解析に必要な熱的特性及び機械的特性は取得され、次のページに行きますけれども、溶接残留応力の実験測定値と解析値の比較検討はされているから、適用できるという御説明があったというふうに思います。

実際には、PTS評価は、想定される挙動を多方面から検討して、保守的に評価することが必要ということになりますので、クラッド化の想定欠陥部に生じる応力を算出することが重要というふうに考えます。したがって、熱伝導解析及び応力解析に用いるクラッドの熱的特性及び機械的特性については、代表性を確認した上で、設定方法を明確にさせていただく必要があるのではないかというふうに考えております。

それから、次に、その下になりますけれども、4.1.9として仮想欠陥についてですけれども、仮想欠陥の方向をクラッド下にしたこと及び方向を変更したことに關してになります。

めくっていただきまして、24ページのところに、今日お示しいただきましたグラフを掲載しております。この計算をした内容等について、いろいろ御説明いただきましたけれども、24ページの赤で書いてあるところに我々の理解が記載しております、溶接残留応力の計算結果によれば、内面近傍では周方向の残留応力が高めであるものの、板厚内部ではいずれのほうが高いとは言えないということで、そういう結論を記載していただきましたけれども、そうであるとするならば、最大仮想欠陥の方向については、必ずしも溶接線方向がいいともちょっと言えないのではないかと思っておりますので、現在お示ししていただいているような溶接残留応力の計算により設定する等の検討が今後必要なのではないかと思っております。

続きまして、同じページの下のところは4.1.10として、応力拡大係数の算出ということで、こちらについても、クラッドを考慮したということが主な変更点になっております。

26ページを開いていただきまして、赤いところで書いてございますけれども、日本電気協会はということで、クラッドの厚さについては、規格上明記していないものの、設計寸法等を踏まえて、解析者が適切に設計するというふうに考えているとしています。これにつきましては、先ほどちょっと御意見させていただきましたけれども、規制要求上は、厚み

の測定とか、そういうものが設計・建設規格、溶接規格、維持規格、そういうものにおいて規定されておられませんので、このPTS評価になったときに、この数値が出てくるという形になると思います。

この同じページの一番下の行にございますけれども、照射前のクラッドの引張特性を使用して、応力拡大係数についても、そういうものをやれば、保守的な評価となりますよということが御説明いただきました。だから、我々の考えとしましては、その下のところに、「以上のように」とございますけれども、クラッド下の欠陥に対する応力拡大係数評価に関して、いろいろな研究が行われていますけれども、照射前のクラッドの降伏点が御提示いただいたSUS304の降伏点を上回っているか確認した上で、クラッドの機械的特性や厚さの設定方法を明確にする必要があるのではないかというふうに考えております。

それから、ちょっと飛ばしていただきまして、62ページを開いてください。こちらには、健全性評価の許容基準ということで、めくっていただきまして、63ページの③のところに、先ほど御説明いただきました高温予荷重効果や亀裂伝播停止についての変更点がありますということで、御説明を頂いています。

さらに、めくっていただきまして、66ページになりますけれども、真ん中の辺りに、「また」ということで、日本電気協会さんに中性子照射後の鋼材に対する高温予荷重効果について説明していただいて、文献において、実験的に妥当性が確認されているということが説明されています。ただ、これにつきましては、私どもとしましては、国外の鋼材で、かつ、実験的に確認されていることは分かりましたけれども、国内照射材に対して適用可能かということについて、やはりちゃんと検討していただく必要があるのではないかとこのように考えています。

したがって、PTS評価における健全性評価に高温予荷重効果を適用する場合には、今、御説明いただいた内容に加えて、クラッド下の半楕円欠陥に対して熱衝撃による温度勾配や2軸応力を負荷した状態においても、高温予荷重効果の発生機構が失われないか等の検討を今後していただく必要があるのではないかとこのように考えています。

また、めくっていただいて、67ページになりますけれども、亀裂伝播停止についても、本日御説明いただきまして、真ん中辺りに「米国では」とございますけれども、Sec. XI について、欠陥を検出して、検出した欠陥をモデル化して、脆性破壊評価を行っているということで、このモデル化には、クラッドとの関係も考慮して決めるというふうになっていまして、PTS評価にアメリカで用いられていますFAVORの技術的根拠の中では、亀裂伝

播停止については、無限長さの表面亀裂を考えるとというふうに説明がされています。

また、次の68ページになりますけれども、フランスのRSE-Mでも同じように、クラッドを考慮した評価が行われることになっていきますけれども、こちらのほうについては、2行目の鍵括弧にありますけれども、 K_{Ic} 基準を満たさない場合には、つまり、交差する場合にはということですが、RCC-M Appendix ZGに与えられている K_{Ia} を用いて、亀裂の伝播停止評価をすることは可能であるというふうに書いてありますけれども、この規格の対象外ですというふうなことが記載されておりまして、具体的評価方法については示されていないというふうになります。したがって、クラッドの評価方法については、その下の段にございますけれども、今後、電気協会において明確にさせていただく必要があるのではないかとこのように考えています。

それから、次に、 T_0 の試験方法の関係ですけれども、こちらについても御説明いただきまして、72ページのところに、下のほうに4.2.2、適用試験片というふうに記載されておりまして、こちらのほうに説明していただいた内容を追記しています。

めくっていただいて、74ページですけれども、先ほど電気協会さんから説明がありましたように、K-S検定以外の検定は特に行っておりませんということでしたので、私どものほうで可能な検定についてちょっと行ってみましたので、それについて、藤澤のほうから説明したいと思います。

お願いします。

○藤澤技術参与 藤澤です。

それでは、添付資料4について、説明いたします。

通しページの172ページを御覧ください。これは、電気協会さんのほうで行った2標本のKolmogorov Smirnov検定以外の方法によって、統計的にちょっといろんなことを試してみたいということになります。

行ったものは、まず、正規性の検討を行っております。これについては、下のほうに、表添付4-1がございますけれども、データ数が4T試験片、2T試験片と、それぞれありますけれども、12、16、32、36、55というふうなデータになっております。ヒストグラム、それから正規性を直線性の検定ですね、そういうふうなものを行いました。それから、次のページに書いてありますけれども、表にありますけれども、1標本でのKolmogorov Smirnov検定、それから、Shapiro WilkのW検定というふうなものも行っております。

ここに書いてありますが、結局、ヒストグラム、それから、直線性検討で行った結果は、

大体、正規分布とみなしてもいいのかなというふうな感じにも見えるんですけども、もともと176ページの図がございますけども、マスターカーブを、確率密度をグラフにしますと、この図の添付4-1と添付4-2のほうになります。こういうふうな形になります。図の添付4-2は、横軸が K_{j0} 値、破壊靱性値を取ってきたときのグラフでして、これは、もともとワイブル分布の形状母数は4にしていますので、非常によく一致するというので、今、赤と黒のカーブがよく一致していることが分かります。ところが、横軸を $T-T_0$ という温度にしますと、黒いマスターカーブの確率密度がどちらかというと多少中心値よりも左側に傾いてくるんですけども、正規分布の赤い線に比べて、やっぱりかなりずれているという傾向が分かります。こういうふうな前提を用いまして、傾向を踏まえた上で、ヒストグラム正規確率分布を検討したわけです。

もう一つは、174ページのほうに、表の添付4-4、平均及び分散に関する検定というのを、それから、順位和検定というものも行っておりました。この結果、組合せは、Mini-C(T)と、それから4T、2Tとかというふうな組合せで行っていますので、分散の検定では、等分散とみなすとか、等分散とみなさないとかというふうな結果が得られています。

それから、平均の検定においても、有意差があるものとなしのものというふうな差が出ました。ということで、それから、Wilcoxonの順位和検定においても、有意差がないという帰無仮説が採択されるというふうなものが出ていますけども、前のページの173ページの上のほうの表の上から2番目ですね、Shapiro-WilkのW検定では、左から2番目の2T-C(T)ですね、この場合には、帰無仮説が棄却されまして、逆にそれ以外の4Tとか1Tなんかは、採択されるというふうなことになっていまして、固有差が生じております。

結論として、いろんな方法をやってみたんですけども、データ数が異なるということで、正確な差がある、ないという判定はちょっと難しいのではないかというふうなことで、結論としてはよく分からないと、そういう結果になっております。

以上です。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

続きまして、また前のほうに戻っていただきまして、98ページを御覧ください。

4.2.12として、ワイブル分布の位置母数と形状母数というところがございますけれども、こちらに、先ほど、ラウンドロビンデータに基づくデータの計算結果をお示しいたきましたので、99ページのほうに載せてございます。資料の御説明によりますと、 K_{min} は大体20で、傾きが4になっているグラフになっていますと説明がなされまして、私どものほう

でも、この上の赤で書いているところの下から3行目になりますけれども、回帰直線とか示されていませんけれども、 K_{min} が20であることを補完する結果が得られたと判断しておりますので、少なくとも未照射材に関しましては、かなりマスターカーブに乗っているという証拠を示していただいたというふうに考えています。

今日説明していただいた内容については、以上でございます。

○山中委員 それでは、ただいまの説明のありました資料6-3、6-4について、質問、御意見等ございましたら、お願いいたします。

○高見澤研究員 JAEA、高見澤です。

ちょっと確認なんですけれども、資料6-3でありました K_{Ia} と RT_{T0} での話なんですけれども、4206の規格の中で、RF-2100というところで、関連する記述があると思うんですけれども、ここでは、圧力・温度制限を設定する際には、 RT_{T0} を用いるというような話が記載されているんですけれども、解説のほうを拝見すると、供用状態C、Dを意識したような記述というのがあると思うんですね。解説のほうの……。

○佐々木企画調整官 高見澤さん、すみません。ページ数をおっしゃっていただいてよろしいでしょうか。

○高見澤研究員 RF-2100は、規格の5ページですね。5ページの下から5行目、RF-2100に基づく圧力・温度制限を設定するためには、 RT_{T0} を RT_{NDT} の(1)、(2)に置き換えてもよいということが書いてあると。一方、解説のほうの、解説の3ページのほうを見ると、参考文献の上の段落、「しかし」の以降のところ、RF-4230またはJSMEの維持規格に従った K_{Ic} 曲線を取り入れるような記述がありまして、これは供用状態C、Dの亀裂伝播停止を意識しているのかなと思うんですけれども、現状について、この K_{Ia} に対して、 RT_{T0} を適用する場合というのは、圧力・温度制限測定に限っていることであって、供用状態C、Dについては、将来的に適用していくという、そういうような認識で間違いはないでしょうか。

○佐々木企画調整官 すみません。佐々木ですけども、ちょっと遮りますけれども、今御説明いただいたのは、JEACの4206の2016年版、5ページということよろしいですか。

○高見澤研究員 はい。

○平野主査（日本電気協会） いいですか。破壊靱性検討会の平野ですけど。

今の御質問ですけど、その理解でいいです。現状は、 K_{Ic} カーブで RT_{T0} を使うという可能性はありますけど、 K_{Ia} は通常では使われなくて、現状規定されているのは、供用状態C、DでのPTS評価での詳細評価で、行っちゃったというか、 K_{Ic} を満足しない後でしか、今、

規定がないので、そこで K_{Ia} というカーブが残るので、今、これ、ここに解説で書いているだけで、現状、使う可能性はかなり低いと考えております。

よろしいでしょうか。

○高見澤研究員 ありがとうございます。

○山中委員 そのほか御意見、御質問等ございますでしょうか。

いかがでしょう。

大畑先生、よろしく申し上げます。

○大畑教授 一つお伺いしたいことがあるんですけども、佐々木さんからの御説明の中で、米国NRC、そちらのほうで基本的には欠陥評価とか健全性評価ですかね、そういったところにマスターカーブを適用していくと。そういったことがエンドースされているという一方で、いわゆるPTSの評価に関しては、現状、まだマスターカーブの適用というようなことはなされていないというふうに受け取ったんですけども、今後、米国のほうでも、このPTSに対してもマスターカーブを使っていこうとしているのかとか、その辺、動向がもし分かれば教えていただきたいんですけども、その辺、まだ調査中というか、難しいということであれば、今後、ウォッチしていく必要があるのかなというふうに思いました。

以上です。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

御意見ありがとうございます。まさに同じことを私どもも関心を持っておりまして、この報告が、発表になったのが割と最近なものですから、今まさに御指摘いただいた内容についても、NRCに問合せをしようとしているところですので、回答いただきましたら、何らかの形で御説明させていただきたいと思っております。

○大畑教授 阪大、大畑です。

ぜひ、よろしくお願ひいたします。

○山中委員 どうぞ、電気協会さん。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田ですけども。

ちょっと誤解があるかもしれないので、御説明させていただきますと、米国は確率論的破壊力学を使っているんですね。破壊靱性はマスターカーブではないですけども、マスターカーブと同じような3母数のワイブル分布を使った破壊靱性データで、破壊靱性データのばらつきを考慮して評価することになっています。ですので、なっているというか、そういう確率論的破壊力学に基づいて、 RT_{MDT} に関する基準をつくっていますので、マスター

カーブを使っていないというか、破壊靱性データのばらつきを考慮して、マスターカーブと同様の評価はなされているというふうに解釈してもらったほうがいいかなというふうに思います。

PTSについては、そういうふうな規制になっています。

○大畑教授 阪大、大畑ですけども、よろしいですか。

今の御回答に関連して、先ほどの資料6-3の冒頭に、加圧熱衝撃の評価は破壊靱性を用いず、関連温度の上昇の制限値により規制しているとあるんですけども、これとの整合性はどのようなふうに考えたらよろしいでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田ですけども。

これは間違っていないんですけども、10CFR50.61という規制がありまして、そこでは、 RT_{NDT} に関するスクリーニング基準というのが設定されています。それは間違っていないんですけども、この RT_{NDT} のスクリーニング基準を設定するに当たって、50.61aというものなんですけども、スクリーニングの設定に当たって、確率論的破壊力学評価が行われると。結果を踏まえて決められているということです。その確率論的破壊力学の解析の中で、マスターカーブと同様の破壊靱性の分布を考慮した評価がなされているということです。

○大畑教授 阪大、大畑です。

どうもありがとうございます。よく分かりました。

○山中委員 そのほか、いかがでしょう。

沖田先生、どうぞ。

○沖田准教授 東大の沖田でございます。

ちょっと本日付け加えられたところではないんですが、この技術評価書の技術評価についての点で、一つちょっとコメントがございます。

ページ数でいうと、ごめんなさい。 ΔT_t のところございまして、58ページになりますね。58ページ辺りになります。今、 ΔT を圧延材、鍛鋼材、溶接金属でどう決定していくかということに関しまして、照射量の低いデータを用いた場合には、 ΔT 自体が小さい値になって、割と厳しめになる。だけど、照射量が低いデータというのは、照射脆化も小さいわけですから、そんなに大きなものにはならない。しかし、大きいデータを用いると、今度は ΔT に関しては、割と緩やかな評価になる。そういったところで、そのちょうどせめぎ合いで、 5×10^{19} を一つのクライテリアとして、それ以上の照射量のデータで ΔT_t を決められたということだと思います。

その方法はよいので、適切だと思うんですが、こちら照射量依存性があるからという話になっていますが、一方で、圧延材がやはりその結果として非常にやや若干厳しめなデータになっていたと認識しております。

その4.1.11-6を見ますと、圧延材が照射量が低いときには、 ΔT が-27からスタートして、だんだん上がってきて、-15ぐらいで飽和した後、もう一回、-17ぐらいまで下がっているんです。今回、-15でそれを用いられたと思うんですが、この 5×10^{19} と 6×10^{19} の間に、そうしたら、この最大値が、その最大値を例えば 1°C 違っただけで、これは随分、この満足するデータが増えるんじゃないかというのが、これまでのデータを見て思ったんですが、これは 5×10^{19} は、ちょうどバランスで決められたと思うんですが、この間に設定したら、随分、圧延材のデータもよくなるんじゃないかと思ったんですが、いかがでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

5×10^{19} に設定した理由としましては、照射量の依存性と、あと、もう一つは60年運転時の照射量、それを踏まえまして、 5×10^{19} 以上が重要だろうということで、パーセンテージしたのになっています。

沖田先生御指摘のとおり、圧延材については、 5×10^{19} よりも高くしても、あまり変わらないというか、逆に減ったりしてしまっていて、飽和する傾向が表れています。なので、 5×10^{19} は60年運転時の照射量ということを踏まえて決めたわけですがけれども、そこそこいい値に設定されているんじゃないかなというふうに思っています。

○沖田准教授 東大の沖田でございます。

ここから細かい話ではございますが、その結果、多分、ほかの鍛鋼材や溶接金属に比べて、ほかの鍛鋼材、溶接金属99%以上、そのデータは満足している中で、圧延材は数%ちょっと低い値を、やはりそれは非常に規制側としてちょっと、この圧延材はどうなっているのかなという気持ちにもなっていくわけですね。それを見たときに、 5×10^{19} と 6×10^{19} の間で、その最大値が存在して、もしその温度を設定すると、包括性が随分変わってくるんじゃないか。結構、ラインぎりぎりのところもあるんですね。そんなふうにデータを見ていて思ったんですが、いかがでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

-15 $^\circ\text{C}$ と-17 $^\circ\text{C}$ ということで、 2°C ぐらいなので、電気協会側の評価としては、ほぼ飽和しているというような判断をちょっとしています。包絡性がどれぐらい変わるかというところは、沖田先生が言われているように、変わるかもしれないですけど、それよりもちょ

っと飽和しているだろうというような感じで考えています。

ちょっと答えになっているかどうかあれですけども。

○沖田准教授 何度もすみません。今、 -15°C という温度最大の、この得られた値の中で最大を取られていると思うんですね。照射量のクライテリアをどこに引くかという。5と6の間ぐらいにちょうどその最大になる値がある。 7×10^{19} のことを申していますので、そうすると、 ΔT の温度が多分 1°C 、 2°C 変わってくる。 1°C ぐらい変わってきたら、包絡性も随分変わってくるんじゃないかというのが、私の、データを見ていて感じたことでもあります。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

ちょっとそういう観点では、すみません、見れていないので、また確認はしたいと思えます。ただ、あと、もう一つは、照射量の高いときのデータ、やっぱりどんどん少なくなっていますので、 6×10^{19} とか 7×10^{19} になっていくと、もうどんどんデータが少なくなっていますので、そういうところも踏まえて、判断する必要があるかなというふうには思います。

○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。

○山中委員 そのほかいかがでしょう。

○笠田教授 東北大、笠田です。

資料6-4、非常にこれまでの議論をまとめられていて、特に質問を追加するつもりはないんですけども、何といたらいいんでしょうかね、曲げ試験片とDCTは結局、技術的根拠が提示されなかったということで、私も指摘していたところなんですけども。一方で、何というんですかね、実際の監視試験の今後の技術開発において、この辺りはもう、DCTはちょっとよく分からないですけども、材料試験のとかでやったBCTを使いたいところもあるでしょうから、ただ、曲げ試験というのは、もう基本的には、技術的検討は必要ないという方向性でいいんですかね、これは。

電気協会さん側に聞いているつもりなんですけども。実際の運用上、ここは検討を続けなくていいんですかという質問です。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会、山本でございます。

mini-C(T)試験片が使えるようになるということであれば、曲げタイプの試験片を、当面、どうしても使わなければならないという状況にはならないというふうに考えておりま

す。

もちろん間口は広いほうがいいので、試験規格としては、可能であれば残しているほうがもちろんいいと思います。バイアスについても、検討したデータが十分ありますので、全く駄目ということはもちろんない。評価に用いることはできるというふうに考えております。しかしながら、例えば、圧力容器鋼での評価のニーズというふうに考えれば、mini-C(T)試験片があるのであれば、当面、困る状況には陥らないだろうというふうに考えております。

○笠田教授 分かりました。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。

よろしいでしょうか。

特に御質問、御意見等ないようでございますので、本日の議題は以上となります。

本日の説明で、技術評価書案について、一通り議論することができたと思いますが、事務局から何かございますか。

○遠山技術基盤課長 技術基盤課の遠山です。

事務局を代表して、これまでの議論のまとめをしたいと思っております。

まず最初に、技術評価を行う上での視点でございますけれども、規制委員会といたしましては、3学協会規格を含む民間規格については、審査の基準に該当するものに引用しようとする場合、その内容を技術的に妥当であるかという観点から評価を行うということとしております。今回、日本電気協会さんの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、JEAC4206の2016年版、さらに、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、JEAC4216の2015年版、この二つにつきまして、その技術的な妥当性が十分に証明されているか、あるいは、その根拠が記載されているかという観点で検討を行ってまいりました。

次に、現行の技術基準規則との関係でございますが、原子炉圧力容器については、技術基準規則と技術基準規則の解釈に基づいて、発電用の原子炉を設置しているものに対して、亀裂その他の欠陥の有無の定期的な検査を実施すること。また、監視試験片の設置を求めています。さらに、中性子照射脆化に対して、破壊靱性の要求を満足することを求めています。この要求に対する仕様規格、いわゆる仕様規格として技術基準解釈では、同じく日本電気協会さんのJEAC4206の2007年版が現在は引用されております。今回、皆さんに御参加していただいて、技術評価を行った内容ですけれども、まず、このJEAC4206の

20016年版で主な改定点としては、私どもとしては3点あったと考えております。

まず1番目に、マスターカーブ法を取り入れて、破壊靱性遷移曲線の式を改定されました。2番目にPTS評価に用いる仮想欠陥の位置を従来の炉心領域の内表面からクラッドがあるものとして、そのクラッドの下に変更したと。三つ目に、健全性の評価の許容基準としましては、いわゆるPTSなどが経験する場合の応力拡大係数が破壊靱性を表す応力拡大係数を上回らないこととしていることのほかに、仮にこれを満足しない場合でも、冷却の過程で、応力拡大係数が単調減少している時間については、評価対象から除外できる。また、それも満足しない場合でも、容器の板厚の中で、亀裂の伝播の停止の有無を評価して、この亀裂が仮に伝播しても容器の板厚を貫通しなければ、それでよしとするということを追加されております。

そして、参照温度の試験方法としまして、米国のASTMのE-1921で規定しているマスターカーブ法を参考とされて、今回、原子炉圧力容器の鋼材の監視試験片が今後、使用可能となるようなmini-C(T)の試験片を含む破壊靱性参照温度 T_0 を用いることとして、その決定のための試験方法について規定をされております。

これまで検討チームで会合し、議論を行った結果、この後ちょっと理由を述べますけれども、先に結論だけ申し上げますと、事務局としての技術基盤課といたしましては、現時点で、規制における破壊靱性確認方法、JEAC4206の2016年版の適用性を判断するには、時期が尚早であると。今後、学協会において技術検討が行われ、この規格が改定された後に、再度、技術評価を行うこととしたいと考えています。また、参照温度の試験方法であります4206の試験方法のほうは、JEACの4206の2016年版にのみ引用されている規格でありますので、併せて、今後、適用性を確認するということとしたいと思えます。

この今回、適用性を判断することが十分できなかったとした理由でございますが、三つございます。

まず一つは、マスターカーブ法を取り入れた破壊靱性遷移曲線の式の改定についてであります。マスターカーブ法は、いわゆる破壊靱性の不確定性を評価しようとしている技術の発展に伴って開発された手法で、国際的にも使用されています。そして、今回、このJEAC4206の2016年版では、このマスターカーブ法を基に、日本電気協会さんが策定した破壊靱性遷移曲線というのを新たに規定されております。この式につきましては、中性子照射で脆化した国内で使われているプラントの材料においても、適用ができるかどうかという点で検討を行いました。残念ながら十分に確認ができなかった点があったと思えます。

まず最初に、いわゆる式の信頼下限を5%としたということの妥当性が十分には確認できなかった。それから、2番目に、データ数の観点で、検討が十分ではないのではないかとと思われる材料、これは圧延材と溶接金属ですが、これらについても、十分な確認ができなかった。三つ目に、この2016年版の式と、それから同じJEACの2007年版の破壊靱性の遷移曲線の式を比較した際に、材料ごとの破損確率の傾向が異なるものがありましたけれども、その理由について十分な確認ができなかった。四つ目にどの照射量のデータを用いるかによって、参照温度を規定する式、 Tr_{30} ですけれども、これに使用する補正温度 ΔT_t の値が変わる理由、先ほど先生から御指摘がありましたけれども、この部分についても十分な確認ができなかったのではないかと考えています。

二つ目に、仮想欠陥の想定に、従来は考えていなかったクラッドを考慮することについてですけれども、これについては、実際にどのようにして評価をするかについて、具体的な手法などが十分に提示されなかったと考えております。

三つ目に、健全性評価、PTSの場合もですけれども、許容基準として、PTSの状態で経験する応力拡大係数と破壊靱性を規定する応力拡大係数が交わる場合を設けたことについては、その妥当性を判断するための技術的根拠が、これについても十分に提示されなかったのではないかと考えております。

以上のことから、今回、長時間かけて議論をしていただいたわけですけれども、私どもがこの規格を技術基準、あるいは技術基準の解釈として引用するには、まだ十分な確認ができなかったというふうに考えております。

それから、この今日のまとめにつきましては、今後、この技術評価書案とともに、原子力規制庁から規制委員会に対して、後日、御報告をしたいというふうに考えております。

私からは以上です。

○山中委員 それでは、説明のありましたような方向で進めていただければと思います。

資料6-4について、コメントがございましたら、2週間を目処に頂ければと思います。電気協会の皆様方についても、よろしく願いいたします。

また、技術評価は、非規制者からの希望を聴取して、実施したものになりますので、事務局は非規制者からの意見があれば、聴取するようにお願いします。

以上で、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。

どうもありがとうございました。