

総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会原子炉安全小委員会検査技術評価ワーキンググループ（第35回）

議事録

日時：平成22年1月21日（木曜日）10:00～12:00

場所：経済産業省別館9階940共用会議室

議題

1. 新保全技術に関する検討状況
2. 加圧水型軽水炉の一次冷却材圧力バウンダリにおける Ni 基合金使用部位に係る検査等について
 - 2-1 600系合金溶接部 PWSCC も関する対策・知見拡充・技術開発状況について
 - 2-2 600系 Ni 基合金部に適用するレーザ外面照射応力改善方法（L-SIP）の応力腐食割れ防止に関する有効性確認結果
 - 2-3 UT サイジング技術向上の取り組み状況
 - 2-4 大飯3号機 原子炉容器出口管台溶接部の補修概要
3. 高サイクル熱疲労に係る措置状況について
4. 配管減肉管理に関する事業者の取り組み状況

議事内容

1. 新保全技術に関する検討状況

石垣統括安全審査官 皆さん、どうもおはようございます。定刻まで間がありますけれども、出席予定の方皆さんお席に着いておりますので、これから第35回「原子炉安全小委員会検査技術評価ワーキンググループ」を開催させていただこうと思います。本日はお忙しい中、御出席ありがとうございます。

では、いつものとおり議事の方は主査の宮先生によろしくお願いしたいと思います。

宮主査 どうもありがとうございます。それでは、定足数と配付資料の確認をお願いいたします。

石垣統括安全審査官 事務局の方から、まず定足数でございます。総合エネルギー調査会の運営規程上、定足数は全委員の過半数でございます。本日は定数10名の委員の先生方のうち9名の委員に御出席いただいておりますので、この会議は有効に成立しているということでございます。

続きまして、配付資料を確認させていただきたいと思います。

お手元に議事次第、委員名簿、配付資料一覧とございます。座席表も併せて配らせていただいております。

資料 35-1、ダブルクリップで別添や別紙を幾つかとじてございます。

資料 35-2-1、A3 の資料を折り込んでおるもの。これも関連の資料をダブルクリップで閉じ込んでございます。これで 1 つのかたまりでございます。

資料 35-3、横のパワーポイントの資料になります。

資料 35-4、配管減肉の関係の資料でございますけれども、こちらも関連のものを含めてダブルクリップで閉じ込んでございます。ちょっとわかりにくくて申し訳ございません。このような構成になってございます。

メインの委員の席のみの配付とさせていただいておりますけれども、前回第 34 回 WG の議事録。

もう一つ右肩に参考資料とふって配らせていただいております。前に御議論いただいた WOL の扱いを入れ込んだ形のき裂解釈の内規を参考として配らせていただいております。

傍聴席の方、申し訳ございません。今の 2 つの資料は私どものホームページに掲載されてございますので、そちらをごらんいただければと思います。

配付資料は以上でございます。不足等ございましたら何なりとお申しつけいただければと思います。

以上でございます。

宮主査 どうもありがとうございました。それでは、本題に入っていきたいと思っておりますけれども、議事次第がございます。これについて議題として(1)～(5)まで、本日は 2 点ほど審議事項的な項目がございますので、よろしくお願い申し上げます。

その他御存じの RNP 委員会で補修技術の検討が随分進展しておりまして、その中間報告あるいは検討状況について報告をしていただくことになっております。大変充実した内容かなという印象を持っておりますけれども、どうぞ皆さん活発な御意見を賜ればと思っておりますので、よろしくお願いいたします。

それでは、最初の議題でございますが、資料 35-1 ですけれども、新保全技術に関する検討状況ということでございます。事務局に説明をお願いしたいと思っております。よろしくお願い致します。

河野保安検査官 それでは、資料 35-1 に基づきまして「新保全技術に関する検討状況」を、検査課の河野でございますけれども、説明をさせていただきます。キャップ工法の詳細については古作の方から説明することになりますので、よろしくお願い致します。

新保全技術に関する検討状況ですけれども、前回昨年 7 月末の 34 回検査 WG で報告しておりますが、それ以降の検討状況について以下のとおり報告させていただきます。

テンパービードの溶接工法の適用性についての検討でございますけれども、これにつきましては常温と余熱ありの 6 層テンパービードの溶接施工法について、確性試験で技術基準の要求する性能を有することが確認されていることを踏まえまして、事業者からのノーアクションレターによる事前確認手続というものを 8 月に行いまして、保安院と

しては溶接施工法確認試験を実施可能と判断しております。これに基づきまして施工会社におきまして常温テンパービードの溶接施工法が取得されて、大飯発電所の第3号機原子炉容器冷却材管台セーフエンド溶接部の欠陥補修に適用されております。既に工事は進んでおりまして、使用前検査が残っているという段階です。これにつきましては後ほど詳細説明があるかと思えます。

テンパービード溶接施工法につきましても今後、維持規格等民間規格に反映されていくこととなりますので、今後そういったことの技術評価も必要となってくるわけですが、それについてはどう進めていくかという方向性等を検討しているところでございます。

WOL 工法につきましては WOL の施工方法及び WOL 部の検査方法に関する要求事項に関する部位の内規案のパブコメを実施しておりまして、既に終了してコメント対応も終わりまして、12月25日に制定手続を終了しております。技術基準の解釈及びき裂解釈の改正を行っておりまして、委員の皆様のお手元にコピーがあろうかと思えます。

WOL 工法につきましても今後民間規格の取り込みということもありまして、そういうものを技術評価に向けて方向性等の検討を開始したところでございます。

キャップ工法ですけれども、これは先ほど述べました2つの工法と併せて並行して検討をしておりますが、この工法につきましては既に確性試験とか RTTW といったところで審議されておりまして、そういったことの技術基準適合性の観点での再確認を進めております。

いろいろ検討した結果、キャップの原子炉容器下部の溶接方法、これはすみ肉溶接で取り付けられておりまして、そういったことに関する取扱いというのが論点として抽出されておりまして、今回これに関する検討結果と方向性について御審議いただいて、WGでの御意見を踏まえて方向性を確定して、その方向性に沿って対応を進めていきたいと考えております。

4.ですけれども、上記の RNP の場で課題と取り上げた個別の技術課題が終息の方向になりますので、今後新しいテーマとしてき裂のある配管溶接部への対策 IHSI といったものを取り上げて、検討していきたいと考えております。

5.は維持規格の補修章の体系化がなされた改定版の技術評価、エンドースを円滑に進めるために、個別技術に関する改定版規格の記載内容について RNP の場で先行して検討していくことを考えております。

具体的には補修工法を欠陥除去補修、予防保全、欠陥残留補修、暫定補修の4つに分類して、それぞれの代表工法、テンパービードや WOL 工法といったものについて RNP の場で議論をして、規格改訂に反映する場合の方向性を整理していきたいと考えております。

現状の新保全技術に関する検討状況は以上でございまして、引き続いてキャップ工法に関する議論の状況を古作検査官の方からお願いします。

古作保安検査官 検査課の古作でございます。資料がばらばらと付いておりますので、ダブルクリップを外していただいて御確認いただければと思います。

今の資料 35-1 の本体資料の次が別紙ということで、キャップの内容を書かせていただいたものがございます。こちらをメインに御紹介したいと思うんですけれども、その次に添付 1 というのが RNP の開催実績をまとめたものでございます。第 1 回で課題の整理などをしまして順次進めているというところで、このときもキャップ工法も検討課題として挙げております。その後、少し紹介の形で第 3 回がありますけれども、より具体的な検討というのはタスクとして下部でもう少し限定した形で議論をずっと進めておまして、RNP の作業会といたしましては 12 回の 9 月、13 回の 11 月で検討を進めてきております。

続いての資料が添付 2 で、これは WOL のパブコメ結果をまとめたものでございます。こちらは募集期間が 8~9 月ということで随分古くなっておるんですけれども、解釈等々を出すときに合わせて公表したということで、12 月 25 日付になってございます。この内容については軽微な変更であったことから、炉小委等にも既に御紹介をして 12 月に制定をしているということでございます。幾つかコメントをいただいて修正をさせていただきますので、後で御確認いただければと思います。

添付 3 が今からキャップ工法の概要を御紹介するものとして御用意しております。これも別紙の説明のときに順次めくっていただくことになろうかと思っておりますので、よろしくをお願いします。

更にその次が添付 4 ということで、こちらも別紙御紹介のときにめくっていただくことになるかと思うんですけれども、技術基準適合の観点での論点を整理するためにいろいろと作業したときの資料でございます。これは添付 4 の下に更にその付属として別紙 1、別紙 2、別紙 3 ということで 3 つほど付いておりますので、これも後で少し御紹介したいと思っております。

戻っていただきまして、別紙のキャップ工法の技術基準適合性評価についてというところで御紹介をしていきたいと思っております。

まずキャップ工法でございますが「1.経緯」といたしまして、PWR の原子炉容器下部鏡のところに貫通で付けております炉内計装筒の 600 系ニッケル基合金の溶接部に対する対応でございます。具体的には先ほどの添付 3 を横に置いて見ていただければと思いますが、図で原子炉容器下部がありまして、その貫通している炉内計装筒、真ん中の絵ですと青のものが炉内計装筒で、ねずみ色にしていますのが下部鏡でございます。これは 600 系ニッケル基合金で溶接をしているという、ここの部分の話でございます。

ここの部分は温度条件が 290 というので多少低いものですから、PWSCC の顕在性というのはさほどは高くないんですけれども、否定はできないということで、事業者、メーカーにおきましては、万一き裂が発生し漏えいが生じた場合というときの早急な対応を考えるということで、取替工法を実施するまでの間のバウンダリの補修として、比較

的容易にアクセスが可能な外面から施工するということでの工法を、これまでに検討しているということでございます。

その次のポツですけれども、検討は随分前にしてありまして、先ほどメインの資料でも御紹介がありましたように、確性試験ですとか RTTW というところで審議が既にされておりまして、当時の基準でありました省令 123 号（溶接の技術基準）は当時から性能規定化をされていて、特認の制度が廃止されておりましたので、この工法での取扱いということも RTTW で審議をいただいております、それで技術基準に適合するという判断をしております。その後、民間側におきましては維持規格の補修章というところで、2004 年版に規格化をしているという工法でございます。

今回の審議の議論のスタートとしましては、補修章には入っておるんですけれども、補修章がまだエンドースをしていない、技術評価をしていないということもありまして、許認可上の手続等々を整理する必要があった。当時溶接の基準であったものが原子力の技術基準に移行しておりますので、そこら辺も含めて整理をする必要があるということで議論をしております。内容としましては確性試験、RTTW の審議内容を再確認して、基準に照らして整理をしていくということでございます。

少し添付 3 でさっと状況だけ御紹介をしたいと思っておりますけれども、まず 1 枚目が先ほど申し上げたところで該当部位の御紹介と、ポイントとしましては対策として抜本的な取替工法は大規模作業になるということから、即時の対応は困難ということで、それまでの間の工法として考えている。更に被ばく低減等のためにすみ肉溶接を考えているというものでございます。左下の絵で斜線を引いている部分が溶接部分になっておりまして、キャップのところには長手溶接があるのと、それぞれの部材のところにはすみ肉溶接が 3 か所あるというものでございます。

2 ページ目からがキャップ工法の手順を順々に示したものでございまして、下部鏡のところは緑色でもととの肉盛座、600 系ニッケル基合金で溶接されているところでございますけれども、その上に 690 の肉盛をする。更に右側に移っていただいて半割れのキャップを合わせることとなります。キャップのところには最終的に、すみ肉をする部分に 690 系の肉盛を最初にしてあるというものでございます。

3 ページ目が半割れのものを長手溶接するというところで、更にそれを座のところにはすみ肉溶接をするということでございます。

更にめくっていただくと、今度はすみ肉で付けたところの下側にリングを差し込みまして隙間を埋めるということで、リングにも長手溶接がございます。

5 ページ目、最終的にリングの両側をすみ肉で閉じまして、バウンダリを形成するというものでございます。

6 ページ目が検討経緯と検討内容ということでございまして、多少ダブりますので簡単に御紹介しますけれども、暫定対応としての工法が必要だということで、その次の四角ではアクセスの観点から内側はなかなか困難だということで、外側からのアクセスを

考えている。作業環境としては高線量、狭隘であるということから、採用を考えているというものでございます。更にこの後また御紹介しますが、すみ肉溶接を採用している理由としましては、その次の四角にありますように開先加工をするには狭隘部等々で、加工装置を付けるのが困難だということがあることを御紹介してございます。

次からは少しまた後で御紹介をしますので、資料構成だけ簡単に御紹介しますけれども、当時の確性試験、RTTWにおきまして構造強度評価をしております。

次のページにはモックアップ試験をしているというデータ。

9 ページ目には先ほどの構造強度評価の結果の図。

10 ページ目がそのときの变形イメージ。

11 ページは JIS 規定での関連条文との関係の整理。

12 ページ目が経緯として、先ほどの省令 123 号に対応する各種検討の進み、補修章の規格化までのところを書かせていただいた後、省令 62 号、原子力の技術基準に移行して今回 RNP 等々で検討をしたという流れを記載してございます。

別紙に戻っていただきまして、具体的にどのところをポイントとして議論したかということ、1 年間かかっていますのでそこら辺のポイントを御紹介したいと思えます。

別紙 1 ページ目 2. でございますけれども、今、御紹介したように漏えいが発生した場合のバウンダリ形成としてキャップがあるということで、キャップの構成部位につきましてはクラス 1 容器としての扱いになるということでございます。そうしますと技術基準上は第 9 条第 1 号の材料、第 8 号の構造、第 15 号の溶接、第 9 条の 2 のき裂等への対応ということになります。

これにつきまして添付 4 でそれぞれの条文ごとに整理をしてございます。最終的には第 9 条 15 号イ（不連続で特異な形状でないものであること）という条文に対しまして、仕様規定上どうなっているのか、それをどう扱うのかということでございます。15 号につきましては溶接規格を基本的には呼び込んでおりまして、更にその中から溶接設計については設計・建設規格を呼び込んでいるという形で、仕様規定がなされているところでございます。

そのクラス 1 の今回キャップのものにつきましては、下部鏡に円筒形のもの、具体的には管台に相当するということで、継手区分としては D に該当するということが、それがすみ肉という従来規定していない方法であるということから、検討しているというものでございます。

その下のポツでございますが、すみ肉溶接を採用した理由と問題点ということで、理由としましては先ほど添付 3 で御紹介したとおりでございます。開先が十分できないこと、高線量、狭隘で作業負荷が相当かかるということで採用しているというものでございます。

次のただし書きにつきましては、今、多少申し上げましたけれども、規格上はクラス 1 のところでのすみ肉としましては溶接区分 D では記載はなく、あるものとしては

加圧器の管台（ヒータスリーブ）に、加熱器を取り付ける継手のところで記載がされているのみということでございます。

具体的には次のページに図を付けてございまして、ここで言うセットインの例というところで真ん中に書かせていただいている左側の図が、ヒータスリーブとヒーターの溶接のところでございます。通常の継手区分 D の規定としましては、右側に書いてありますように完全溶け込み溶接が基本になってございます。

この仕様規定の考え方といたしまして、まずはここでセットイン、セットオンという言葉で書かせていただいておりますけれども、加熱器のように差し込んだ状態で溶接するようなものについては、差し込んでおりますので溶接部に極端な変形がかからないということで、特に曲げ変形がかからないということで、すみ肉のルート部に過剰な応力がかからない構造であろうということ。一方で右側のセットオンのような形になっている場合には、それが溶接部にかかり得るということで、そこは慎重に対応しているということであろうと考えてございます。

2 ページ目の上の文章になりますけれども、仕様規定として形状で言いますとそういうことでございますが、今回の工法は先ほど申しましたように座にキャップを合わせてすみ肉ということなので、ここの表現でいいますとセットオンということにはなるんですけれども、真ん中に BMI が通っている等々で、変形としては添付資料の最後の方に変形イメージを添付させていただきましたが、この当該部に過剰な変形は生じないということでございます。それにつきましては上の文章のただし書きで記載させていただきました。

続きまして 2 ページ目の下のポツでございまして「不連続で特異な形状でないもの」の解釈ということでございまして、すみ肉でやるのが不連続ではないかということがあるのかなのかということ整理したものでございます。解釈上はポツの 2 行目から書いてございすけれども「鋭い切欠き等がある」が修飾として不連続の前に書かれてございまして、基本的には切欠き等の鋭い欠陥によりまして応力集中が発生して、疲労き裂進展をすることを防止するものと考えてございます。

その点に関しまして、この工法におきましては RTTW 等々で議論をしていただいております、応力集中係数というのを通常の規格の方で設定している数字よりも大きめの疲労強度減少係数を設定して、詳細な強度評価を行って対応しておるということで、十分な強度を持っておって疲労が発生することのないように対応されていることを確認してございます。

すみ肉に関しましては、ASME でクラス 1 配管の枝管接続での適用が記載されております、そのときには脚長の要求ですとか寸法の制限ということで、幾つかの要求事項があります。更に検査要求としましては、プログレス PT・MT といったものの要求がございす。併せまして JIS8266 におきましてはすみ肉溶接を許しつつ、形状によってこういう形状はとらないようにということで記載がございす。こちらにつきましては添付 3

の 11 ページに JIS の禁じているものの例を書かせていただきました。

図としては 4 つほど書かれているんですけども、一番相当するようなものとして円筒の形に平板を当てるといものがございまして、こちらにつきましては内側から内圧がかかりまして、平板が膨らむような形の変形があった場合に、すみ肉のルート部が開くという変形がかかるということで、これは先ほど言ったような疲労き裂進展があり得るものになるということで、禁じているものと考えてございまして。

別紙 2 ページ目の最後の 3 行でございまして、今、申し上げたように RTTW の審議におきまして、今回のキャップ構造につきましては応力集中について、これも当方の調査試験でございまして、発電設備溶接部信頼性実証試験というところで応力集中の状況を調査した結果がございまして、それらを用いて強度評価をしているということから、構造強度上十分に確保できるものと考えてございまして。

3 ページ目、検査性に関する整理でございまして、今回特にすみ肉になりますと体積試験ができないという状況になるかと思っております。そのためき裂が発生というところを漏れいまで未然には検知できないという状況になります。そのような観点も含めまして、すみ肉溶接の施設時の非破壊試験としましては施工後の表面 PT に加えまして、溶接中の中間 PT というのをやるように整理がされてございまして。また、この下部貫通部につきましては、もともと目視試験の VT2 が規格で書かれてございまして、更にき裂解釈でベアメタル検査を現状要求しているというところでございまして。

いずれにつきましても、当該部はまだ体積試験を要求していないという部位でございまして、現状においてこの構造が検査性上問題になるものではございません。ただし、もともとすみ肉がある部位ではございませんので、特殊な形状ということもあって長期間の使用に関してどのようにフォローしていくのかということには、若干問題があるのかなと思っておりますけれども、もともとがこの工法自体が抜本的な取替工法を実施するまでの間の対応ということで、その前提条件において問題はないと考えてございまして。

技術的な内容としてこのように整理をいたしまして、3. キャップ工法の今後の取り扱いでございまして、第 9 条第 15 号イということでの適合性というところで、現状仕様規定としましては基準解釈におきまして設計・建設規格等々を呼び込んでございまして、その仕様には明確に書いていないということから、直ちに解釈に適合するものとは言えないということではございまして。

ただし、内容としましてはもともと RTTW 等々で審議をして、技術基準には適合するという判断もしてございまして、今回再確認もしたということで、2 パラグラフ目の「一方」で」というところでございまして、技術基準解釈の前文にももとの解釈、仕様規定というものがあくまで省令要求の 1 事例であって、それ以外についても省令に照らして十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があれば、省令に適合するものと判断するというところで性能規定化の趣旨を書いておりますので、解釈等では読めない

けれども、省令には合致するというところでの位置づけとしまして、この工法を認めていきたいと考えてございます。

更にその部分で読むということに関しましては少し戻りますけれども、今の「一方で」のところから 2 行上でございますが、この工法が暫定的な措置ということで、恒久的な対応であれば解釈で明確にする等々の対応が必要かとは思うんですけれども、暫定的で今後どうなるかわからないということもありますので、文章化をするというのは一般規定につながってしまうということもあって、今回は回避させていただきたいと思っております。

3 パラグラフ目でございますが、ただこれで終わりにしてしまうと明確ではありませんので、事業者の方々にノーアクションレターというものを出していただいて、手続として明確にしていくことを考えてございます。更にその際にはすみ肉溶接の部分というのは先ほどもお話をいたしましたとおり、ルート部の溶け込みが重要になってくるということで、RTTW のときには中間 P T というところしか記載はなかったんですけれども、今回は初層の PT を追加させていただきたいと考えてございます。

また、実際の施工時におきましては今回の規格上は継手区分 D に該当するような部位にすみ肉溶接を採用するという特殊な状況であるということもありますので、開先合わせや溶け込みの確保などには十分留意をしていただきたいということで、それらの内容については引き続き整理、明確化を図っていったって、具体的にはノーアクションレターの中に書いていただく等々の対応をとっていきたいと思っておりますけれども、最終的には溶接安全管理審査で我々としても確認をしていきますということを書かせていただきました。

更に最終的にどうしていくのかということにつきましては、本工法は当時から議論はしていましたが、実際には漏えい事象は発生しておりませんで、まだ適用されていないということもあります。今後どうなるかもわからないということもありますので、適用実績や更にその先の恒久対策の検討状況、補修章の体系化の検討状況なども踏まえまして、随時状況に応じて見直しをしていきたいと考えているものでございます。

飛ばしてしまったんですが、添付 4 の簡単な御紹介をしたいと思っております。添付 4 の 1 ページ目でございますけれども、今は特に継手区分 D と言って申し上げておりましたが、黄色で塗りつぶしてございます溶接部でございます。キャップと鏡の溶接の形態でございます。更に溶接としましては、キャップとリングあるいは BMI とリングの溶接のところがすみ肉でございます。こちらについては論点としては同様なところではございますが、結局は同じように評価をしてございますので、扱いとしては同等でいいかなと思っておりますのでございます。

次のページはイに対しましての解釈、今、御説明いたしましたところを記載してございます。

参考としまして 3 ページ目には平成 14 年の RTTW 審議時の整理を書いてございます。

このときには省令 123 号に対応するものということでまとめてございますが、内容としては同様でございます。

続いて別紙 1 でございます。別紙 1 は 15 号の整理でございます。こちらについてはイのほかに 2 ページ目に口に対応するもの、更に 3 ページ目は八、4 ページ目は二ということで整理をしてございますけれども、こちらにつきましては淡々と溶接を施工していただくということで、特段の論点はないことを確認してございます。

更に別紙 2 につきましては 9 条の 1 号と 8 号でございます。こちらも一通り分解して整理をいたしましたけれども、論点になるものはないということで整理を済ませてございます。

最後別紙 3 につきましては 9 条の 2 の 1 項、2 項ということで記載してございまして、省令解釈上はき裂解釈を呼び込んでいて、その中で別紙 1 で試験要求、先ほどの VT-2 とベアメタルを要求しているということがございます。それによって貫通き裂を検知して改善を図るという対応をとってございますけれども、この部位につきましてはキャップ構造が新たなバウンダリを構成するということから、き裂が発生した部位はクラス 1 の構造部材としてき裂が残存するところになります。当該部は漏えいには直接関与しないで新たなキャップのところを担保するというところから、監視はキャップのところであればよいということで整理をしているものでございます。

以上、少しばらばらと資料を御用意させていただきましたけれども、キャップの検討状況でございまして、こちら辺の見解について御意見をいただければと思っております。

以上でございます。

宮主査 どうもありがとうございました。それでは、少し時間がありますので質疑応答をお願いいたします。小林委員、どうぞ。

小林委員 別に反対ではないので、だれも言わないから言わないといけないと思って。

この構造はここでは不連続で特異な形状ということで取り上げていますが、やはりかなり心配な構造だと思えます。心配な構造というのはルート部があってすみ肉だという構造で、大体似たような構造で一般的に知られているのがソケット継手だと思えます。ソケット継手はすみ肉かどうかという定義の問題がありますけれども、ルート部があってすみ肉で、それで過去にトラブルを起こしているわけです。

そういう意味から、技術的に今おやりになっていることの幾つかの検討結果の評価なんですけれども、まずなぜこういう構造が問題になるかということと 2 つあると思えます。1 つは要するに裏波の検査ができない。だから溶け込みが不十分であっても裏から検査ができないという決定的な問題があるわけです。だから ABWR の場合にインターナルポンプの取付溶接でそれが非常に大きな問題になって、結局ルート部を広げて見られるようにしようという構造に変えたんです。だから裏波の確認ができない、ルート部の溶け込みが十分かどうかというチェックができないというのが 1 つの大きな問題です。

もう一つはルート部そのものが切欠き効果を持つのではないかという心配があるわけです。ルート底で例えば溶接欠陥があったとか疲労き裂が出てきたら、その欠陥の大きさにルート部の長さがプラスされて、それで破壊力学的に非常に厳しい条件になるという懸念があって、だから我々はいろんなケースを検討してきているんです。今回はその2つの観点からはかなりきちんとした検討をしていただいていると思います。だからルート部の溶け込み不足があるかもしれない、裏波の健全性が確認できないということに対しては初層のPTをやる。多分それで十分だろうと思うんです。

それから、この場合には高ニッケル合金ですから破壊モードは延性破壊です。その延性破壊という破壊に対してはルート部の長さが切欠きとして効くことはないので、要するに塑性崩壊という現象ですから、のど厚が十分確保されていれば問題は実断面応力で決まりますから十分。そういう意味で心配はあるんですけども、その心配に関しては健全性という観点からはちゃんと答えが出ているのではないかと。だから今のものをいろいろ検討されて、こういう構造でということで私は多分問題ないだろうと思います。構造的には問題がなくて、初層のPTを必ず実施していただくという条件は多分つくと思うんです。それがあつたら健全性の立場からはこの工法で十分ではないかと思います。

以上です。

宮主査 どうもありがとうございました。野本委員、どうぞ。

野本委員 先ほどの資料を見ますと2年間ぐらい御検討されて随分大変だったと思いますし、特に新保全技術はたしか2年ぐらい前にこういうものを始めますと宣言されてから、どういうものが出てくるか楽しみにしておりました。時間はかかり過ぎたかもしれませんが、ここまでまとめてくださって御苦労様だと思います。

私は感想だけ述べさせてください。法解釈ではこれで全く問題はないと思いますが、考え方としてはやはり一番大切なのは構造というか、全体の形状を議論し、それから、溶接という詳細な部分を議論するべきだと思います。

小林先生がおっしゃったような一般論に関しては私もまったく同感です。少し異なる観点で言うと、構造的な不連続のところは疲労の可能性を検討するべきですし、溶接部に関してはその後で考慮するべきだと言えるのではないのでしょうか。

今のこのまとめ方は反対しているわけではありませんが、小林先生のご意見を伺いますと、上位の概念から整理をしていただければよろしいかなと思いました。

以上コメントです。

宮主査 添付3の9ページは応力評価350MPaとかなっていますけれども、30数キロはかかるわけですね。

野本委員 150MPaですか。

宮主査 1次はですね。ですから、その程度はかかるという認識でいいということですか。

野本委員 はい。350MPaはバウンダリの内側からき裂が入った場合で、非常に狭いと

ころを通過してすべての圧力が掛かったと考えた場合です。ですから、多分計算上は全部の圧力を評価していて非常に保守的な場合を想定されているのではないかと思います。その場合には30数キロはかかっていると私も理解しております。

宮主査 1つ基本的な問題があるような気がします。それを少し伺いたいと思います。今の別紙の3ページの中ほどで省令に定める技術的要件を満足する技術的内容は、本解釈に限定されるものではない云々というものがあります。だから技術的な妥当性が十分に実証されれば、省令に適合するものと最終的には判断するという例にまさになっているわけです。そういうことですね。

そうすると、本工法は上の方で抜本的な取替工法ができるまでの期間となっています。けれども、この検討結果を見ると別に永久工法としても妥当ではないかと解釈できます。ご提案のこの措置はこれでいいんですけれども、永久工法であると考えてよいでしょうか。

小林委員 それは我々に問うているということですか。

私は個人的には先ほど言ったように、今の時点で技術的には問題なくて健全性があるという答えは、それは時間は無関係です。だから保安院も事業者も暫定的だと言っていますけれども、私は暫定ということで技術的に別に判断はしていない。だから今お使いになって結構ですという意味は未来永劫とは言わないけれども、かなり長期間にわたって別に問題は出ないでしょう。

長期間にわたって問題というのは逆にリークした状態で工法を適用した場合に、その状態ですと今度は何が起きてきますかという別の想定が必要であって、そこはまだここでは検討されていないわけです。だから漏れたのが止まっている状態、中に液が充満してずっと使っていきます、それで何が起きてきますかという検討は今は何もしていないのであって、そういうことをやっていただければ別に暫定的な取替えでなくても構いません。

ただ、今、暫定的という条件で言っているので、使用条件を踏まえた検討あるいは寿命の検討は別に入っていません。それだけです。だから工法そのものが永久工法として別に採用していただくという観点も当然あります。それはそのとおりだと思います。

宮主査 維持規格とか技術基準とかそういうものに例示がなくても、技術的な妥当性が別途確認されれば適用してもいいという考え方がこの中に入っている。そういうことだったと思うんだけれども、いかがでしょうか。

古作保安検査官 少し補足させていただきますと、基本的にはそのとおりと思って運用したいと整理しておりますけれども、最終的にはやはり明確化を図るということは我々としても必要なことだと思います。恒久的なものとなった場合にはそういうところで解釈に入れるとか、規格化をお願いするという対応が必要だと思っております。こういうキャップ工法はあるんですけれども、そこら辺の位置づけ等々を議論しなければいけないということだと思っています。

一方で、この部位のところは先ほど小林先生も少し申し上げておられましたけれども、漏えいをしたままの状態だということで省令上直接は問題ないというところで解釈はできますが、その後の波及影響として、どう進展していくのかを監視しなければいけない制度に現状はなっておりまして、監視としては外面ではとれませんので、事業者においては内面の ECT、UT で発生した場合には対応するというにしております。

そうしますと作業負荷としては相当大的なものになってくるということもありますし、更に内面 ECT、UT の規定というのはまだ明確に要求をしていないということもあるので、恒久的なときにはそういう体制整備も更に必要になってくるということで、議論としてはもっと大きな話をしなければいけないということで作業は増えます。

宮主査 どうもありがとうございました。庄子委員、どうぞ。

庄子委員 今の件に関連して、これは今のところからリークがあった後もそのまま使うのか、あるいはリークするときまで一応そこでモニタリングをするということなのか、どちらになるんですか。リークした後も使うというのを前提にしているんですか。

古作保安検査官 これはまずリークがあった場合に対応する措置でございますので、その措置をして以降数年間、取替などの工法を適用するまでの間、もとのバウンダリのところに貫通き裂があった状態で使用するということです。

庄子委員 そうすると、小林先生は先ほどそういう状態でどういう損傷が起こり得るかというところは、余り吟味されていないということをおっしゃったんですけれども。

古作保安検査官 その意味では新たな溶接部につきましては 690 で全体的に盛っておりますので、SCC 対策はとれているということは基本にございます。もとの溶接部につきましては何も処置がないということで、き裂進展があり得るということでございますので、そのき裂進展について監視をしていくという対応は考えてございます。

庄子委員 盛っている分は 690 なので、その部分は私も多分大丈夫だろうと思うんですけれども、ステンレスのところでは縦の溶接がありますね。また、下部のところでもまた溶接しています。P のステンレスというのは事例があるわけなので、ですから多分 SR をしていないので 690 のところだけ見れば、そこに溶け込みがあれば一番厳しくなるんでしょうが、それ以外のところでもやはり 1 つは、これは評価すればいいだけの話だと思えるんですけれども、ステンレス鋼でもしそこに P の環境が入ってきたらというシナリオもあり得るかなというのが 1 つです。

もう一つは仮にリークがあって、そこに P の環境がたまってくる過程で、1 つは最終的にどういう状態になり得るのか。压力容器の中の P の環境と、ここの中の P の環境というのが本当に同じなのか違うのかというのが 1 つ。

それから、そこにいく過程でもしリークだけがあったときに、完全に液が満たされるまでは、この中は多分蒸気になるだろうと想像するんです。そうすると蒸気になったときに、そこでボロンの濃縮みたいなのが起きるのか起きないのか。極端にボロンが濃縮すると低合金鋼にとっては非常に厳しいので、もしある期間使うのであれば、そのへ

んの損傷モードもあらかじめ吟味しておいた方がいいのかなと思います。

古作保安検査官 御意見ありがとうございました。そこら辺はまだ暫定だということで余り深く議論していなかったところもありますので、使用期間等の関係も含めて確認をして対応をとりたいと思います。

河野保安検査官 RTTW の議論においては、そういった耐 SCC についての評価もされて問題はないという結論にはなっています。

庄子委員 ステンレスも含めてですか。

河野保安検査官 ステンレスも含めてです。

庄子委員 そうですか。そういう議論がされているのであれば、あとはホウ酸腐食だけで、それは過渡的な話です。

宮主査 それでは、時間もありませんが、キャップ補修工法の技術基準適合性の評価については、これで御了承いただけるということによろしいですね。

(「はい」と声あり)

宮主査 どうもありがとうございました。

2. 加圧水型軽水炉の一次冷却材圧力バウンダリにおける Ni 基合金使用部位に係る検査等について

2-1 600 系合金溶接部 PWSCC も関する対策・知見拡充・技術開発状況について

宮主査 それでは、次にまいります。

「加圧水型軽水炉の一次冷却材圧力バウンダリにおけるニッケル基合金使用部位に係る検査等について」ということで3件ございます。ご説明をよろしくお願いいたします。

古作保安検査官 引き続き、私の方からまず御紹介をさせていただきたいと思います。資料 35-2-1 で御紹介を順次させていただきます資料、枝番 2 一式をダブルクリップでとめてございます。

2-1 は PWR の SG の対応、RV の対応ということで、これまでいろいろと議論していただいておりますので、それを含めて全体的に実機としてどう対応がとれているのかということをもとめた A3 の資料が、2-1 の資料でございます。

2-2 というのがその次に付いてございまして、先ほどの A3 で少し御紹介しますけれども、L-SIP につきまして適用している号機がございまして、その扱いについて少し御意見をいただきたいものがございまして、こちらにつきましては確性あるいは適用いたしました、日本原子力発電と三菱重工の方から御紹介をしていただくということを考えてございます。

2-3 も SG や大飯 3 号の RV 管台の事例の御議論のところ、UT サイジングの技術向上が必要だという話をさせていただいてございまして、その進捗をこちらにも実際に携わっております電力、三菱重工の方から御紹介をしていただくというものでございます。

2-4 といたしましては、先ほど RNP でも御紹介させていただきましたテンパービード

の実機適用等も行いました大飯 3 号の出口管台溶接部の補修ということの、これもまだ使用前検査最終までには行っておりませんが、実際の施工は既に終わっていますので、そこら辺の状況を御紹介するという事で、全体的に PWSCC 対応についての御紹介をするというものでございます。

戻っていただきまして 2-1 の資料でございます。表としましては一番上段に、この WG におきまして審議をいただいた内容をごく簡単に項目として記載してございまして、25 回に L-SIP の取扱いを少し紹介したということでございますけれども、実際いろいろと御議論をさせていただいたのは 26 回のところで、美浜 2 号、敦賀 2 号の PWSCC が SG 管台で発生したというところで、いろいろと御議論をしていただいたということを皮切りに、RV への対応ですとか、もろもろ検討していただきました。我々の対応としましては、都度内表面の点検指示に始まりまして、対応指示あるいはそれを解釈側に反映するといった対応等々をしてございます。

実機につきましては、SG 管台につきましては内面点検指示をしてございますので、順次点検が入ってその都度工事をして対応策をとる、あるいは出口管台につきましては予防保全をとるといったところで対応が順次進められてございます。現状におきましてほとんどのプラントにおいて対応が済んでございまして、22 年度以降というところでは川内 2 号の出口の予防保全が残ってはございますけれども、一通り対応が終わってきているという状況でございます。

RV 管台につきましては、こちらは予防保全を打つ、備考に書いてございますけれども、四角で書いてありますプラントにつきましては、VT の後ウォータージェットをしている。今後については ECT をして、ウォータージェットを打つという三角のところがあるということでございます。

実際にひびが発生しました大飯 3 号につきましては、19 年度 3 月に研削除去をして 1 サイクル運転をしてございまして、更に今回の定検 10 月のところにマーキングしてございますけれども、肉盛補修をして 690 で表面を覆い対策がとれたというものでございます。こちらについては先ほどの枝番 4 で御紹介をしたいと思っております。

加圧器管台につきましては、これまでも順次管台取替えということで、全体的に 600 の部位を 690 に変えるという対応がとられているところでございまして、今後も順次対策がとられていくというところでございます。

この中で平成 19 年 9 月に敦賀 2 号で三角印を付けさせていただいてございます。更に今年度 2 月に敦賀 2 号の三角がございまして、こちらの方が先ほど少し資料で御紹介をしましたレーザーによる応力改善、L-SIP を施工しているというところでございます。こちらについて応力改善の効果というところで、次の資料で確認をいただければなと思っております。今回次の資料で御確認いただければ問題がないようございまして、ノーアクションレターの手続の中で有効性を確認していきたいと思っております。

その下が原因究明ということで、美浜、敦賀の事例あるいは大飯 3 号の RV の事例を書

かせていただいております。

知見拡充 / 技術開発として、それらの原因究明で使いました残材を使っただけの追加調査を書いてございます。

検査技術につきましては、先ほど申し上げた UT のサイジングについてメーカー側での基礎開発、更に今後電共研を進めていくということについて、枝番 3 で御紹介をしていただくということでございます。

更に補修・予防保全技術につきましては、これも前の WG で御議論いただきました、潜在き裂があると想定したピーニングの有効性を考えてきているということ、あるいはテンパービード溶接について対応をとったということがございます。

全体としてこのようなところでございますけれども、全体で御質問はございましたら今お聞きして、それぞれの事業者等々から説明をさせていただきたいと思っておりますが、何かございますでしょうか。

宮主査 このテーブルは素晴らしいと思います。ずっと見ても、ちっとも飽きないし、昔のことを考えると面白い。検査課が体系的に緻密に網羅性をもってき裂の問題、SCC の問題、疲労の問題等々に取り組んでいることが実によくわかる。大変価値が高い表だと思います。

こういうものは検査技術評価 WG だけに閉じ込めないで、もう少し外に対して説明することになるといいなと勝手に思ったりします。思わず感想を表明させていただきましたけれども、特になければ次の 2-2~2-4 まで個々の問題について説明していただいて、質疑応答に入りたいと思います。

2-2 600 系 Ni 基合金部に適用するレーザ外面照射応力改善方法 (L-SIP) の応力腐食割れ防止に関する有効性確認結果

宮主査 では 2-2 の資料をお願いいたします。

日本原子力発電(蔵内) 日本原子力発電の蔵内でございます。それでは、資料 35-2-2 で 600 系ニッケル基合金に適用いたします、L-SIP の応力腐食割れ防止に関します有効性確認結果について御説明いたします。

めくっていただきまして、始めに L-SIP の概要といたしまして、PWR の 1 次冷却水環境下におけます 600 系ニッケル基合金部の応力腐食割れなどに対します予防保全策、残留応力の改善策としまして、平成 18 年に確性試験を行いまして承認された工法でございます。

その後、平成 19 年 9 月に日本原子力発電の敦賀 2 号機におけまして、加圧器サージ用管台の異材溶接部について実機適用をいたしました。今後は同じく敦賀 2 号機の加圧器のその他の管台につきましても適用する予定のものでございます。この L-SIP につきましては、施工前確認で検出されない微小な欠陥の存在を仮定いたしましても有効であり、検出限界のき裂を想定した上で、応力腐食割れ防止の有効性確認が実証された対策に該

当すると考えますことから、これらについて御説明をいたします。

まず L-SIP の原理について御説明いたしますが、L-SIP につきましては応力腐食割れの要因の 1 つでございます、溶接部内面に発生いたします引張残留応力につきまして、外面からのレーザー照射によりまして、板厚内温度差を利用しまして残留応力を改善する工法でございます。すなわち、内面からアクセスできない部位に対しまして適用可能な工法でございます。

左上の図に示しますとおり、外周上をレーザー光が移動しながら外面を照射、加熱いたしまして、板厚内外面に温度差を与えることによりまして、内面全周の残留応力を改善いたします。右の図にありますけれども、レーザー照射時につきましては表面が熱膨張により伸ばされますが、これが内外面が拘束されていることから、外面には圧縮応力が、内面には引張応力が生じます。これがその下の冷却過程におきまして、表面が収縮される際に同じく内外面が拘束状態にございますことから、内面に圧縮応力が生じるというものでございます。この原理を利用しまして内面の残留応力を改善させます工法が L-SIP でございます。

次に潜在欠陥に対しまして L-SIP の影響と効果につきまして、確性試験で確認いたしました項目とその結果について御説明いたします。

L-SIP は施工前検査としまして外面から超音波探傷検査 (UT) を行いまして、健全性を確認した上で施工することとしておりますけれども、UT には検出限界がございまして、内面側に UT で検出されない微小な欠陥、いわゆる潜在欠陥が残存する可能性は否定できません。このことから、このような潜在欠陥が残存した状態で L-SIP を施工した場合に、施工時にこの欠陥が進展しないこと、また、残留応力の改善効果があることを確性試験の中で確認をしてございます。

具体的には潜在欠陥といたしましては、UT 検出限界でございます 20% 深さのものを想定いたしまして、下の表にございますけれども、まず 4.1 の項目といたしまして L-SIP 施工時に延性き裂が発生、進展しないことを、延性き裂進展評価と破面・表面観察を行い確認してございます。また、L-SIP の効果につきましては右側の表の 4.2、4.3 というところで、潜在欠陥周辺で残留応力が圧縮応力になっていることを解析で確認するとともに、SCC 試験を行いまして欠陥の進展がないことなどを確認してございます。

5 ページ目に、L-SIP の影響評価項目の 1 つでございます延性き裂進展確認試験の結果を記載してございます。まず としましてステンレス鋼溶接部、ニッケル基合金溶接部は各材料の限界の CTOD を試験で求めてございます。また、L-SIP 施工時の CTOD につきましては、L-SIP の施工対象構造の中で最も CTOD が高くなるものを選定いたしまして、左の図のモデルに示します低合金鋼、ステンレス鋼継手部を対象としてございます。

この当該継手に対しまして、保守的に軸方向に無限長さの欠陥を想定しましたモデルで 3 次元の FEM を用いました熱弾塑性解析を行いまして、L-SIP 施工時の最大の CTOD を算出してございます。この結果を右のグラフに示しておりますが、L-SIP 施工時の CTOD

を赤色の縦線で示してございます。各材料の限界 CTOD を記載してございますが、それと比較をしますと各材料の限界 CTOD よりも L-SIP 施工時の CTOD は小さいことから、L-SIP 施工におけます延性き裂の進展は生じないということを確認いたしました。

なお、計算結果ではここで想定いたしました軸方向無限長さの欠陥の CTOD につきましては、溶接部の貫通欠陥に置き換えた場合に比べまして約 2 倍となることから、十分保守的なものと考えてございます。

6 ページでステンレス鋼管継手部に対しまして、SCC によります潜在き裂を付与しました供試体を製作いたしまして、この供試体に L-SIP を施工いたしまして潜在欠陥が進展していないことを確認してございます。

まず L-SIP 施工後に破面 SEM 観察を行いました結果、延性破面が確認できてございませんので、L-SIP 施工により SCC き裂が進展していないことを確認いたしました。また L-SIP 施工前後で表面の観察を行いました、L-SIP 施工により長さ方向のき裂進展がないことと、新たなき裂の発生がないことを確認してございます。

次に、潜在欠陥に対しまして L-SIP 施工の効果の確認といたしまして、潜在欠陥近傍で残留応力が圧縮側に改善されていることを熱弾塑性解析で確認してございます。潜在欠陥の有無によります板厚内圧縮残留応力の改善範囲の比較を、600 系ニッケル基合金溶接部に対しまして L-SIP を施工した場合について、左のグラフに示してございます。上側の棒がき裂ありの状態でございます、き裂の先端部にはひずみの集中の効果がございまして、き裂がない場合、下の棒に比べましてき裂先端に大きな圧縮ひずみを受けます。そのためき裂がない部分よりも深い範囲が圧縮残留応力に改善されてございます。

したがって、潜在欠陥がない場合の方が残留応力改善範囲が狭くなりますことから、保守的に潜在欠陥がないモデルで各継手の全ケースに対しまして応力改善範囲を確認いたしました。この結果を右のグラフに示しておりますが、いずれのケースもグラフの一番下のところに想定している潜在欠陥 20% のところがありますけれども、これを上回る範囲で残留応力が圧縮となるというところを確認してございます。

先ほどの解析の結果、いずれのケースにおきましても内面から潜在欠陥深さ以上の範囲で残留応力が圧縮になりますことから、SCC き裂が発生 / 進展しないと言えますけれども、この結果を確認するために代表 1 ケースで 42% の沸騰塩化マグネシウム水溶液に浸漬させまして、SCC 試験を実施して結果を確認してございます。

この試験に用いました供試体につきましては、ニッケル基合金に数 mm 深さの SCC 欠陥を制御しまして導入するのは非常に困難でございますので、ステンレス鋼継手を採用してございます。この供試体に 20% 相当の潜在き裂を付与いたしまして、L-SIP を施工しないで SCC 試験を実施した場合、左の写真に示しますとおり SCC の発生 / 進展を確認しました。

同じく潜在き裂を付与した後に L-SIP を施工してから SCC 試験を行った場合につきま

しては、右の写真に示しますとおり新たなき裂の発生がなく、また、き裂が進展していないことを確認してございます。

これによりまして潜在欠陥を有しませぬ溶接部につきましても、L-SIP 施工により SCC き裂の進展及び新たな SCC き裂の発生が防止できることを確認いたしました。

まとめといたしまして、以上の結果から L-SIP 施工によりませぬ潜在欠陥への影響と効果を確認いたしました。

としまして、L-SIP 施工によりまして潜在欠陥から延性き裂が進展せず、また新たな欠陥の発生も認められないことから、潜在欠陥に悪影響を及ぼさないことを確認いたしました。

としまして、潜在欠陥がありましても、L-SIP 施工後は潜在欠陥よりも深い範囲まで圧縮応力が得られることを確認してございます。

としまして、潜在欠陥が存在いたしましても、L-SIP 施工後は SCC き裂の進展、新たな SCC き裂の発生が防止できることを確認いたしました。

したがいまして、L-SIP の施工前確認の UT で検出されない微小な欠陥の存在を仮定いたしましても、L-SIP の技術は有効でございまして「検出限界のき裂を想定したうえで応力腐食割れ防止の有効性が実証された対策」に該当するものと考えます。

以上でございます。

宮主査 どうもありがとうございました。質疑応答をお願いします。野本委員、どうぞ。

野本委員 単なる質問です。勿論全部理解したつもりですけども、8 ページの左側の方に SCC 試験前のき裂という、この一点鎖線のところにき裂を入れておいて試験をされたのですね。

日本原子力発電（蔵内） はい。

野本委員 それで、そこが一番大きく進展するかなと思ったら、そこが意外に小さくてほかの方が大きかった。右の方は十分理解しました。一般的にこんな試験結果が出るのでしょうか。もしかすると最初のは余り進展しなかったというので、面白いデータかなと思いましたが如何でしょうか。

三菱重工業（佐藤） 三菱重工の佐藤と申します。よろしく申し上げます。

内容としましては、たしかき裂が存在する周り全部つながってしまして、そこから進展したものと、周辺からまた新たに発生したものが全部つながってしまっていますので、確かにあったところの周辺は厳しかったとは思っているんですが、塩マグの試験で非常に厳しい環境でなっていますので、結果的に終わったところは広い範囲で割れだらけになってしまして区別がつかない状態になっている。ただ常識的に考えると、やはりき裂が初期にあったところが最も厳しかったんだと思うんですけども、それがわからないような結果になってしまっているものだと思います。

野本委員 ありがとうございます。

宮主査 5ページのCTODの件ですが、L-SIP施工時の最大CTODと熱的条件が違うが、こういうふうと同様に比較していいんですか。延性き裂が発生するかしないかの限界値ですね。それでL-SIPをやったときは保守的になっているということなんですか。端的に言えば、温度条件が違うのではないのでしょうか。

三菱重工業（佐藤） 材料の方は最も延性き裂が出やすいような条件ということで、高温の状態にした上でデータをとったものと比較しております。

宮主査 ほかにいかがでしょうか。小林委員、どうぞ。

小林委員 内容的には何も問題はないので技術的な確認で、7ページの右側の図というのは潜在欠陥なしの結果ですね。矢印というか先端がとがった棒グラフの色は何を意味しているんですか。

三菱重工業（佐藤） 色合いの方はモードで配管の中に水があって、水冷されているものと空冷というものが2種類ありますので、その色を分けています。

小林委員 くだらない区別をしていますね。

三菱重工業（佐藤） わかりにくくて申し訳ありません。

小林委員 それも色が薄くなっていくでしょう。何を意味しているかと思って頭をひねっていました。

本来の質問は、これは潜在欠陥なしで板の片面を加熱して塑性変形しますという解析をしているので、対称問題。なぜ曲げの中立軸50%のところまでならないんですか。真ん中の2つの溶接は先端が50%になっている。これは当たり前でしょう。一番上と一番下の溶接は60%になっている。これはどうしてですか。

三菱重工業（佐藤） 物といたしましては完全に対称条件ではなくて、溶接が非対称なのと、L-SIP そのものもぐるっと回したもので、少し時間遅れの影響、若干の非対称なところはるかとは思っております。

小林委員 平均したらなるんですか。

三菱重工業（佐藤） そうですね。平均するとそうかなと思います。

小林委員 溶接によって違うということは説明がつくわけですか。

三菱重工業（佐藤） 溶接条件そのものは解析では対称的にはなっています。

小林委員 要するに上と下の対称の差、母材と容器が違いますということで、こういうことが出てくるという説明はつくわけですかと聞いているんです。検討してください。全然問題ないので。

三菱重工業（佐藤） 物としましては部位解析になっていますので、板圧方向で特性も違う母材と容器というのが存在していて、その影響というのも当然含まれた結果にはなっております。均一な材料であればある程度そういうことは言えるかと思えます。

小林委員 要するに中立軸の位置まで圧縮応力が及ぶというのは極めて当たり前の話で、当たり前のことを説明しているわけです。そうしたら当たり前でない結果のことを説明した方が、我々技術を知っている人は納得しますよという話だけです。結構です。

非常に不思議だなと思ったんです。

三菱重工業（佐藤） 了解しました。

2-3 UT サイジング技術向上の取り組み状況

宮主査 では、次に進んでよろしいですね。

それでは、資料 2-3「UT サイジング技術向上の取り組み状況」です。説明をお願いします。

三菱重工業（井手尾） 三菱重工の井手尾でございます。UT サイジング技術向上の取組状況について御説明させていただきます。

最初に背景ですが、この資料には記載しておりませんので口頭で補足させていただきますと、平成 20 年に大飯 3 号機の原子炉容器の管台で SCC が検出されまして、そのときに UT のサイジングを試みましたが、端部エコーが検出できずにサイジングができなかったという事象がございました。その後の調査で、その SCC は深さ方向に非常に細長い特殊な形状をしているということがわかっておりまして、サイジングできなかった要因としては形状に起因するものだろうということで考えられております。

今回このような特殊な形状についても、サイジングができるような UT 手法を開発することで検証を実施しております。この WG の場でも以前基礎検討としましてシミュレーションを実施して、フェーズドアレイが有効であるということをご報告させていただいておりますけれども、その後の検討状況について今回報告させていただきます。

1 ページでございますけれども、今回御報告する内容でございますが、まず 1 つ目がプローブの開発ということで、これは実機搭載性を考慮したマトリックス型のアレイプローブといったものを開発しております。

試験体の製作でございますが、大飯 3 号の欠陥形状を模擬したような細長い SCC の製作を行っております。

3 つ目としまして試験結果でございますけれども、今回開発しましたプローブ並びに製作しました SCC を用いて検証試験を行いまして、更にその破壊調査も行いまして、今回の手法の有効性を確認しております。

2 ページ、これが開発しましたプローブのイメージ図でございます。まずシミュレーション、EDM 等を用いた予備試験を行いまして、その試験結果からプローブの方式を選定しております。

ここでは 2 つのプローブを挙げておりまして、1 つ目が浅い欠陥用としまして小型の左右分割型のフェーズドアレイというもの、深い欠陥用としましては 2 探型のマトリックスのフェーズドアレイというものでございます。

それぞれプローブのイメージ図をそこに書いておりますけれども、小型の左右分割というのは探触子を複数配置しまして、それを左右に配置する方式でございます。この絵でいきますと、赤い側から音を出して青い側で受信するという右と左に分かれたような

プローブになっております。

2 探型のマトリックスフェーズドアレイは右側の絵でございますが、これは複数振動子を円形に平面状に配置しまして、これも大きく分けると左右に分かれたような形をしておりまして、赤い方で打って青い方で受けるというタイプのものがございます。

2 つ目のポツに書いておりますけれども、マトリックスアレイについては当初絵にありますような円形のプローブを検討しておりましたが、この円形のプローブでいきますとかなり大型になるということで、実機への搭載性が少し悪くなるということで、その後、矩形でくさび一体型のもも検討を実施しておりました製作をしております。当然その矩形のプローブの選定に当たりましてはシミュレーション等を行いまして、円形のマトリックスと同様の機能以上のものを有するという設計を実施しております。

3 ページ、今、申し上げましたマトリックスアレイのプローブの外観写真を右下に載せております。左側が当初検討しました円形のマトリックスアレイのプローブでございます、右側がそれを少し小型化した矩形のマトリックスのアレイでございます。

プローブの仕様としましては、新しく開発したものは左右分割型の縦波の送受信のマトリックスアレイということになりまして、ケーブルを上の方から引き出す形にしております。今回新規で製作しましたプローブというのは、接触面積並びに高さ方向の寸法をかなり小型化をしております、ならい性を向上させるとともに装置への搭載性も向上したというものでございます。

4 ページ、試験体の製作でございます。ここでは平板のニッケル基合金の溶接材料に、大飯 3 号機のセーフエンドで検出されたような細長い形状の SCC を模擬したものを製作しました。目標としましてはアスペクト比が 1 以上ということで、右側に赤い絵がありますけれども、深さ方向に細長いような SCC を製作目標としております。

欠陥深さとしては 10mm 以下、10~20、20~40 という各々のものを、複数体製作を試みました。普通に SCC をつくると深さに比べてどちらかというとき長さの方が長い、アスペクト比の小さい SCC ができるんですけども、ここではいろいろ工夫をしまして、深さ方向に細長い SCC をつくるということで、実際に後ほど写真で説明をさせていただきますが、細長い SCC が製作できております。

具体的なやり方としましては左側に絵が少しありますけれども、ステンレスの母材に 690 のニッケル基合金の溶接を行いまして、その一部に 600 系のニッケル基合金を溶接しまして、その 600 系ニッケル基合金のところに SCC を入れるというやり方でございます。右側には表面 PT の結果の写真を付けております。

5 ページ、そのようにして製作しましたプローブと試験体を用いてデータの採取を行っております。ここでは 10~20mm 目標でつくった SCC のデータの例でございます、上段が前後分割型の T50-R40 あるいは T70-R50 と書いてありますけれども、現行法のプローブでございます。

下が 2 探型のマトリックスのフェーズドアレイの結果でございます。それぞれにつき

まして欠陥識別性、端部エコーの識別性、サイジング精度という観点で確認をしておりますが、欠陥識別性については現行法ではノイズが高い傾向にありまして、フェーズドアレイではノイズが低く識別性が高いという傾向が確認できました。また、端部エコーの識別性についても現行法では非常に不明瞭な端部エコーでございますけれども、マトリックスでは明瞭に端部エコーが検出できているという状況でございます。サイジング精度については後ほど破壊調査結果と比較したデータをごらんいただきますけれども、マトリックスの方が精度がよい結果になったということでございます。

6 ページ、これが今回製作しました SCC の破面調査をした結果でございます。右側が大飯 3 号機で実際に発生した SCC の形状、この赤い部分でございます。今回製作しましたのが左の写真でございます。これですと深さが 16.5mm、表面の長さは 19.6mm ですけども、少し中に入ると細くなっておりまして 14mm ぐらい、こういう SCC を製作しております。

7 ページ、サイジング精度の評価でございます。ここに現行型の結果とマトリックスのフェーズドアレイの結果をプロットしております。横軸が実深さ、縦軸が UT での評価値となっております。ここでは試験体 3 体がこの時点で完成しておりましたので、3 体の結果をプロットしております。1 つが 10mm 程度の深さのもの、16mm 程度のものが 2 体ございまして、この 3 体の結果でございます。赤がマトリックスフェーズドアレイ、青と黄色が前後分割の現行法でございます。

この結果を見ますとマトリックスフェーズドアレイの方が実深さに近い評価値が得られて有効性が確認できたと考えております。マトリックスアレイの場合ビームの集束効果というのが非常にございますので、その集束効果の影響でこういう結果が得られているということで考えてございまして、これらの結果から、マトリックスフェーズドアレイについても実機適用の目途が得られたと考えております。

8 ページ、今後の予定でございますけれども、この試験そのものはまだ完了したわけではございませんで、現在継続中でございます。今後 SCC 試験体の追加製作及びサイジング試験を行うとともに、電共研も実施しまして今回開発された手法の検証並びにデータ拡充を実施していきたいと考えております。

2 つ目のポツとしまして、開口面エコーの活用検討継続ということで、当時端部エコーが得られないということで UT サイジングができなかったわけですけども、開口面エコーは得られていたという状況でございます。今後そういう開口面エコーの情報を活用して、高度化された手法を適用する際の予備判定として用いるといったことも、検討をしていきたいと考えております。

以上でございます。

宮主査 どうもありがとうございました。質疑応答をお願いします。三原先生、どうぞ。

三原委員 こういうふうになって技術がはかれるようになってすごくよかったなと思

っているんですけども、少しお聞きしたいんですが、これは汎用のものを分割するような格好で単純に使うとかではなくて、それ用にこれをつくっていますね。そこがやはり効いているんですか。

要するにとがったき裂を見つけようとしているから、形状もとがらせようというのがうまくいっているのが、すごくよくわかる形になっていていいと思うんですが、分割して2つの方向でやるということになると、今度は汎用性が逆にだんだん減ってくるようになると思うんです。汎用性というのは別にここでは汎用性なんか要らないかもしれない。使い方でそうなっていると思うんですけども、どのぐらいのものか位置づけを聞きたい。

三菱重工業（井手尾） 確かに2分割型で分割したタイプになりますので、どこかの深さに焦点を絞るという形のプローブになりますので、汎用性という意味では確かに低下すると思います。ただし、ここで開発しておりますのはフェーズドアレイ型の分割プローブでございますので、フェーズドアレイという意味では、集束深さをいろんな深さのところ集束できるということがございまして、かつそれも探傷は同時に複数のデータが取れますので、ここで開発しておりますプローブはかなりの板厚の範囲を、全体としてカバーできるというプローブになっております。

三原委員 例えば市販のマトリックスプローブみたいなもので、こういうものの流用はどのぐらいできるのか、できないのか。やはり特別につくらないと効かないんですかね。とりあえず今これはやったということでもいいんですか。そこまでは細かくは見ていないですか。

三菱重工業（井手尾） 市販のマトリックスのプローブであっても、周波数、大きさ、チャンネル数といったものがある程度合致すれば、ある程度の活用はできるかなと考えております。

三原委員 これがこのぐらいできるから、そういう見方もすればいいですか。

使い方としては、やはりあくまでも見つけて、見つかったときにこの間みたいに深さがこのぐらいかというところを、どうしても見たいというときに使うという使い方になりますか。

三菱重工業（井手尾） あくまでサイジングということで考えております。

三原委員 ですから、通常これがすばらしくいいからといってやるのではなくて、やはり汎用的に言うとほかの機能がはかりにくくなっているところもあるから、使い分けるといえることですね。

三菱重工業（井手尾） そういうふうに考えております。

三原委員 どうもありがとうございました。

小林委員 一番最後の今後の検討で、今サイジングに関しては非常に有効な手法を開発しましたということでもいいんですけども、下の開口面エコーの活用検討継続というのは検出の問題とサイジングの問題、要するに開口面エコーと言っているのは、サイジ

ングでない探傷の開口面エコー。意味がわからない。

三菱重工業（井手尾） 済みません、説明不足でしたけれども、当時サイジングの UT をやりましたとき、サイジングの結果として欠陥の面からのエコーは検出されていたけれども、先端の端部エコーは検出されていないという結果でございました。ただ、面からのエコーというのはかなり深い範囲で、広い範囲で検出されておりました、結果的にはそのデータを活用していなかったのがサイジングできないということをしていたんですが、面エコーだけを見るとやはりある程度深い欠陥かなという想定はできたのではないかとございまして、こういう検討項目を入れております。

小林委員 過去はいいんだけど、これからどうしますかという話で、今サイジングは新しい手法でやりますと言ったら、今の開口面エコーの活用検討というのがサイジングの探傷の開口面エコーの活用だったら意味がないでしょう。要するに一般的に超音波をやっていて、その開口面エコーの活用ができるというのなら話はわかるけれども、どちらですか。

三菱重工業（井手尾） 実際におっしゃるとおりで、上の方で開発したプローブで端部エコーでサイジングができれば、下は不要になります。

宮主査 古村委員、どうぞ。

古村委員 今の開口面エコーの話ですけれども、それと絡んで 5 ページ目の B スコープの画面で端部エコーが明瞭に検出できたというのは、開口面エコーと分離して端部エコーの振幅値が大きいとか、あるいは位相が変わっているとか、そういうことで見えたということでしょうか。

三菱重工業（井手尾） はい。そのとおりでございます。

古村委員 SCC の先端の形状というのは非常に種々さまざまありますので、そういうふうにこのフェーズドアレイのプローブを使っても、端部エコーが明瞭に識別できる場合とできない場合は当然出てくると私は思うんです。そういう意味で開口面エコーを使ってサイジングの予備判定をするというのは非常に重要なことだと思いますので、そういったデータの蓄積を今後されていくのは非常に重要なことかと思えます。

三菱重工業（井手尾） わかりました。

2-4 大飯 3 号機 原子炉容器出口管台溶接部の補修概要

宮主査 ほかによろしいですね。それでは、次にまいります。

資料 2-4、RV 管台溶接部の補修の概要です。説明をお願いします。

関西電力（平野） 関西電力の平野でございます。大飯 3 号機の A の原子炉容器の出口管台なんですけれども、一昨年に傷を見つけまして、そのときは傷を研削して除去した上でピーニングをかけて、言わば少しへこんだ状態で 1 年間運転をしてまいりました。当然何も問題はなかったんですが、今回の定検を利用いたしまして原子炉容器の上に円筒を立てて、原子炉容器の管台部を気中環境にした上で常温テンパービードという工法

で、690 合金でもって肉盛り復旧をしております。

工事といたしましては 11 月中旬に着工いたしまして、12 月下旬に工事としては終わっておるといことで、現場の当社の所員とメーカーさんに大変な御尽力をいただいたんですけれども、工事としては終了しておるといことで、今回は模型とかをお持ちいたしまして補修概要について御説明を濱崎からさせていただきます。

関西電力（濱崎） そうしましたらお手元の資料と、今、言いましたように模型を使いまして大飯 3 号機原子炉容器出口管台溶接部の補修概要について御説明をさせていただきます。

1 ページ、こちらは今、平野から説明がありましたとおり、平成 20 年 3 月に大飯 3 号機の定期検査におきまして、PWSCC の予防保全対策としてウォータージェットピーニングを施工することとしておりましたが、それに先立って実施しました ECT におきまして軸方向に微小な指示を確認といことで、傷を確認しております。ページの下半分にありますとおり、傷としましては 600 系ニッケル基合金の部分に確認しております。

2 ページ、見つかった傷につきましては今、説明がありましたとおり、当該定検におきまして研削することによって除去しておきまして、左側のイメージ図が上下ありますが、このような形状に研削しまして深さ約 21mm まで研削して傷を消失させております。研削終了後にウォータージェットピーニングにより表面に圧縮の応力を付与いたしまして、その後、平成 20 年 11 月に運転を再開いたしております。

3 ページ、運転再開に先立ちまして、当社といたしましては 600 系ニッケル基合金溶接部の応力腐食割れに対する更なる信頼性向上のため、次回の定検において 690 系ニッケル基合金を用いた溶接補修を実施することとしておきまして、それまでの間に工法を開発、確立するといことで考えて進めてきました。

溶接補修に際しましてはテンパービード溶接を採用する必要性がありましたことから、本検査技術評価 WG において御審議いただいて、ノーアクションレター手続により管台の溶接補修が可能となり、その工法をもちまして今回補修を実施いたしております。下側は後ほど模型を使いまして御説明をしますが、溶接した部分の図を示しておりますけれども、左側の上下の吹き出しに書いていますとおり、溶接部位のうちピンク色で書いております低合金鋼近傍の部分につきましては、テンパービード溶接により施工いたしております。

4 ページ、溶接を行うための全体的な周辺環境づくりとしまして、まず左側の図を見ていただきたいのですが、今回原子炉容器の管台の補修に当たりましては原子炉容器の内面からアクセスする必要性があったため、原子炉容器より上部、下部の炉心構造物を取り出してキャビティに仮置きしております。

炉心構造物を取り出した際には遮へいの観点からキャビティを満水する必要がありますので、その状態でありまして斜線で示しておりますとおり、当然原子炉容器の中も満水状態になります。このことから右側の図を見ていただきたいのですが、こちらの赤っぽ

い色で示しております円筒仕切り板を原子炉容器の上に設置することによりまして、原子炉容器内面に気中環境をつくり出して、その上で溶接補修作業を実施しております。

5 ページ及び 6 ページにつきましては、実際の管台内面の溶接補修の作業をどのようにやったかということ、コマ送りのような形で示しております、例えば 5 ページを見ていただきますと除染ということで、赤色の除染装置を管台内に実際に挿入いたしまして除染作業を行ったと書いておりまして、同じような形で研削装置、溶接装置等も管台の中に挿入して作業を進めております。下には実際の現場の状況の写真も付けております。

それでは、模型を使いまして実際の溶接補修の進め方について簡単に御説明をしたいと思います。

こちら原子炉容器の出口管台の円周の一部分を抜き取ったものを模擬した模型でありまして、寸法はほぼ実物大となっております。水色の部分が原子炉容器側でステンレス内張りを示しております、緑が 600 系ニッケル基合金、白色の部分がセーフエンドのステンレス鋼を示しております。

まずこの状態において、真ん中にくぼみが見えると思いますが、これが平成 20 年 3 月に傷が見つかった際、研削をして傷を消失させたときの形状でありまして、この形状で 1 サイクル運転いたしております。その後、昨年 10 月末から始まりました定期検査におきまして補修を開始したわけですが、まず始めにこの状態に対しましてテンパービード溶接が施工可能な形状まで、開先形状まで追加の研削を行いまして、成形加工ということで、このような形まで更に削り込んでおります。

次のステップとしまして削り込んだ部分につきましては、まず 600 系ニッケル基合金でこのような状態から溶接をして、一旦埋め戻しております。埋め戻した後、この埋め戻した部分も含めまして 600 系ニッケル基合金の周溶接全体につきましては、690 系ニッケル基合金の溶接で覆うという行為を行うため、まず全周にわたりますこのような幅で溝加工、切削、研削を実施しております。

そして研削した部分について、こちらは黄色で示しておりますが、耐食性に優れた 690 系ニッケル基合金で全周を覆うという形で作業を進めておりまして、溶接部には念のために応力低減の観点から、バフの施工も実施しております。

以上が大まかな溶接補修の流れでございます。

最後に資料の一番最後のページに戻っていただきたいのですが、こちらは今、言いました一連の作業を工程表のような形で示しております。冒頭にも御説明しましたとおり、実際の溶接補修作業は 11 月中旬から準備作業から入りまして、その後除染、切削、溶接等必要な検査を織り込みながらやっていきまして、最終的には 12 月 24 日をもちまして主だった作業、片付けまで完了しております。

これも冒頭に話がありましたが、今後としましては 2 月下旬に最終の使用前検査でありますプラントパラメータの確認、性能検査を残すといった状況でございます。

以上が概要でございますが、最後に改めまして本検査評価技術WGにおきましてテンパービード溶接の御審議等で、御尽力いただきましたことについてお礼を申し上げたいと思います。

以上です。

宮主査 どうもありがとうございました。では本件について何か質疑、御意見を願いたいと思います。よろしいですね。

3件、技術の中間報告をいただいたわけですが、全体を通して特段問題点はないと思いますが、現在のところ、こういうことで進めていくという判断であるということとよろしゅうございますね。どうもありがとうございました。

3. 高サイクル熱疲労に係る措置状況について

宮主査 それでは、次の案件に移りたいと思います。資料35-3「高サイクル熱疲労に係る措置状況について」ということをお願いします。

古作保安検査官 検査課の古作から御紹介をさせていただきたいと思います。時間も大分迫ってきておりまして、次の議題の減肉管理の方が少し内容の話がございます。こちらは現状紹介ということですので、ごく簡単に御紹介をさせていただきたいと思います。

資料35-3でございますけれども、高サイクル熱疲労ということございまして、1枚めくっていただきまして高サイクル熱疲労の位置づけということですが、幾つか事象が生じておりまして、技術基準の第6条で対応を図ってございますけれども、具体的には機械学会の評価指針というのが策定されて対応をとっているというものでございます。

定事検の中におきましてはその解釈を定めています文書において、損傷の発生が否定できない部位について、き裂の有無を確認するという対応を図ってございます。基本的には設計対応なんでもございますけれども、運用上まだ残っているところについてはそういう対応をとるということで進めてございます。

3ページ目につきましては時系列で整理をしております。11年の事象発生から順々に整備をしているということでございます。それぞれ順次対応しておりますNISA文書においての内容の報告ですとか、検査の計画を確認しておりますけれども、最後に21年1月に書いております解釈におきましては、その報告等のNISA文書については廃止をしまして、今後については保全計画の届出等々で確認をしていくというふうに体系整備をしております。

4ページについては高サイクル熱疲労の損傷事例等でございますけれども、これは既に御承知のことと思いますので省略をさせていただきます。

5ページ目も評価指針の内容でございます。ポイントとしては高低温水合流型、キャピティフロー型熱成層について対応を図るというものでございます。

6ページ目につきましては、具体的に対象としている施設の部位でございます。対応

といたしましては評価において疲れ累積計数 U_f が 1 以上になる場合につきまして、試験によって確認する、あるいは設備改造を行うということで対応を図っているというものです。

7 ページ目が BWR の具体的な対象部位、8 ページ目が PWR の対象部位を明示してございます。

9、10 ページ目が現状でございまして、まず 10 ページ目をごらんいただければと思いますが、PWR につきましてはほぼ全プラントにおいて改造等の対応措置が図られていて、設備対応が終わっているという状況でございます。大飯 2 号につきましては来年度に改造工事が行われまして、これによって対応が図られたという状況になります。

一方で 9 ページの BWR でございますが、こちらにつきましては幾つかのプラントでまだ設備対応がとれていないというところで、検査を継続実施しているところがございます。

これにつきましては 11 ページに記載してございますけれども、BWR につきましては継続して順次設備改造の対応措置を図るということでございますが、設備改造が難しい箇所がございまして、検査対応を継続するというところがございます。具体的には下側に書いてございますように、困難な場所としては RHR のバイパス合流部でございます。こちらにつきましては設備設置箇所が大分狭い、あるいは大口径の配管であるということもあって取り回しが厳しいということで、なかなか対応が図れない、口径を変更した場合には系統設計も変わってしまうということもあって、大規模な検討が必要だということでございます。

1F6 につきましては、キャビティフロー型の対応というところで対応を図る箇所が残っているということですので、そちらについては設備改造を図るように計画をしてございます。ということで大分いろいろ議論があったところですが、順次対応を図られていて、現状こういうところまで来ているという御紹介でございます。

以上です。

宮主査 どうもありがとうございました。いかがでしょうか。小林委員、どうぞ。

小林委員 措置状況という観点からはこれで結構だと思うんですが、この WG でも大分前に私は発言して嫌がられた経緯があるんですが、今でも定量的な問題、熱応力が一体どのぐらいの大きさが出て、それに対応して疲労強度がどのくらいあって、それはきちんと定量的に疲労破壊します。そうすると改善としては熱応力をこれだけ下げるからもうしませんという、要するに定量性がクリアーできていますかということが、私の最大の心配事なんです。現在私は確実に定量的には説明が付いていないと確信しています。

具体的に申し上げますと、敦賀の熱応力の応力振幅の大きさが 80~100MPa なんです。それは疲労破壊するはずがないんです。泊はもっとひどくて 65MPa なんです。常識的にステンレス鋼 304 がどのぐらいの疲労強度を持っていますかということ 200MPa なんです。問

題は SN 曲線側の整備が十分でないということが 1 つあるわけです。

10⁶ までしかデータがない。それ以上の高サイクル疲労というのはデータが実際にはなくて、10⁶ から外挿して判断している。その外挿の判断では応力振幅に行きつかないので、今、事故が起きたときにどういう説明をしているかということ、データの無い 304 を硬さだとかいろんなことから疲労強度を推定して無理やり 100 以下にする。そうすると応力は 100 でめでたしというのが現在の解決なんです。それはやはり済ましてはいけない問題だろうと思っています。

だから是非この発言は措置対策としては、こういう方向で熱応力をできるだけ軽減する方向でやっているの、それは非常に結構なんですけれども、現実には起きている問題に対して定量的には説明がついていない。それははっきり言ったのは要するに熱流体解析で応力が十分把握できていないというのが 1 つ、もう一つはステンレス鋼の高サイクルの疲労強度というのは、我々は現実にはどのくらい本当のことがわかっているのか。それは電力さんはみんな気が付いていて、多分電力共研でその両方の問題をやられていると思うんです。

ただ、我々としてもそういう認識はしておくべきだと思います。是非お願いしたい。別にこれで悪いとかいいとかいう問題ではなくて、問題意識としてやはり定量的な評価は是非念頭に置いていただきたいということをお願いします。

宮主査 対策というのは高サイクル熱疲労の発生の撲滅作戦のような気がしますが、そういう意味では今、言ったような肝心の点が欠けている。

小林委員 応力をゼロにすることはできないと思うんです。だから、どのくらい低減するという定量性がなければ、無駄な努力をすることになるわけです。

宮主査 それに関連して 5 ページに評価指針とあります。そういう問題点はこういうところに持ち込んで検討していただいて、評価の仕方について見解を出してもらいたいということになるのかなと思います。勿論役所は役所でそういうことを認識していて、今後のアクションの中に反映をしていくということが望ましいと思います。

ほかにございますでしょうか。古作さん、それでよろしいですか。

古作保安検査官 はい。そのように全体的に進めていければと思います。

宮主査 ありがとうございます。

4. 配管減肉管理に関する事業者の取り組み状況

宮主査 それでは、資料 35-4「配管減肉管理に関する事業者の取り組み状況」についてです。

日本原子力発電(大平) 日本原子力発電の大平でございます。本日は資料 35-4 を用いまして、配管減肉管理に関して事業者全体で取組みを行っておりますので、その状況について御報告いたします。

2 ページ目は目次でございます。この報告の構成でございますけれども、最初に規制

側からいただいている要求と、それに対する事業者の取組みについて。具体的には添付資料 ~ に書いてありますとおりでございます。以降にその説明をさせていただきます。

3 ページ目、省令 62 号の第 9 条に基づきまして保安院さんで内規を定められています。ここから我々の方でエンドースされている JAME 規格に基づく管理を行うとともに、一昨年ですけれども、これを補足する意味で肉厚管理に対する留意事項ということで、ここに書いています 3 点についていただいております。

1 つ目が配管の外側から減肉事象についての考慮をすること。

2 つ目がこれから主に重点的にお話ししますが、配管分岐合流部の穴の周りの肉厚管理に関する事項です。これは下に補足をしてありますが、穴の周囲では穴による板厚の欠損部を補う必要があることから、設計・建設規格の規定を準用して、必要な穴の補強面積が確保されるように管理することということでございます。

3 つ目が初回の肉厚測定時における肉厚の管理方法、以上の 3 点でございます。

4 ページ目、NISA 文書をいただいた以降の事業者側の対応と取組みについてでございます。配管の外側減肉事象については、事業者としては屋外配管等の塗膜や保温材の防水措置が、ちゃんと適切にとられているかという状態を適宜確認するという行為を継続して実施しております。

2 つ目は後にしまして 3 つ目でございますけれども、初回の肉厚測定については余寿命の算出の精度を高めるという観点で、早めに 2 回目以降の肉厚測定の時期を設定する管理を計画立ててやっている次第でございます。

2 番目の今回御説明する穴の周囲の肉厚管理についてでございますけれども、設計・建設規格の規定を準用して穴の補強確認を実施しております。ただ、この計算については計算が複雑であるということで、継続的に運用していくには課題があるということで、下の方に書いてありますが、取組み以下に示す 4 つの取組みを行っております。

具体的には、設備の維持管理に適した合理的な肉厚管理手法を検討するというところでございます。これは材料強度上の観点から、それに即した肉厚管理手法を確立するというところ。

2 つ目といたしまして、T 管については補強板があると現在はダイレクトに UT での測定ができない状況にあります。これを測定する手法を開発する、即ち、ダイレクトに測定をできるような手法を確立すること。

3 つ目は補強板の外側から補強板下部の肉厚を推定するという手法を今、確立しようとしております。

4 つ目として JIS 規格品の T 継手、クロッチの厳しい傾斜があるところについての肉厚を測定する手法を考えるということでございます。最終的にはこれらを融合しまして JSME 規格等への規格化を目指したいと考えております。

以降にこの 4 つの検討について、その状況を御報告させていただきます。

6 ページ目、強度上から要求される適切な肉厚管理を定めることに対してですが、我々はこのような考え方に基づいて検討を行っている次第でございます。最後のゴールは配管分岐交流部の強度を維持する肉厚管理基準を策定しようということでございまして、そのために我々は実機配管相当の分岐合流配管の破壊試験をやって、材料の実力値を見るということ、もう一つは一方で応力解析を行いまして、それとの付き合い合わせから解析手法を確立していくということでございます。

7 ページ目、今の検討状況についてでございます。左の写真が破裂試験でございます。これは T 継手の場合を示しておりますけれども、これは破裂した配管でございます、クロッチ（肩部）からき裂が発生しておるようでございます。具体的には下に少し拡大写真がございますけれども、左 3 分の 1 一体が延性破面状態になっています。その両脇にシェブロンパターンを確認しておる次第でございます。

それに対して右側に応力解析をした結果を示しております。これを見ていただくとわかりますように、やはりクロッチ部の応力が高いという結果が出ております。破壊試験の結果とこの結果はよく一致しておるということから、配管の強度を評価する手法としてこれが活用できるのではないかという見通しを得ております。

ただ、実機等の T 継手については、肩部の肉の厚さが均一ではございませんので、この結果突き合わせてすぐ評価手法が確立できたというわけではございませんので、今後としましてはまず均一の肉厚の T 継手を用いた破裂試験をやる。それとまた応力解析の突き合わせを行って、まず破壊の評価書を確立するという。更に実機はいろいろな T 継手がございますので、母管と分岐管の径が違う異種の T 継手についても同じような破裂試験や解析を行っていくことで、最終的には当該部の減肉を想定して T 継手の強度を維持する管理基準、具体的には穴の周囲の肉厚を設定したいと考えております。

次に、補強板下部の肉厚測定手法の検討でございます。9 ページ目、これは T 管補強板下部の肉厚をはかるために、TOFD 法と呼ばれる斜めに超音波を飛ばすことによる肉厚測定を行って、それを模擬試験体及び実機廃材を用いて検討したものでございます。試験体は下に書いてあるとおりでございます。

その結果でございますけれども、10 ページ目でございます。(1)として検出性でございますけれども、補強板下に模擬減肉を挿入した試験体の測定及び実機の大口径・厚肉管の測定を実施したところ、実機での補強板下の肉厚測定、検出ができたということを確認してございます。

具体的には 11 ページにその結果の一例を出しております。わかりやすいのは右下の実機廃材 550A 試験体を見ていただくと、このような信号が出てきます。枝管のところは当然空洞ですので指示がございませんけれども、その脇にあります強め板、補強板の下はちゃんと信号が得られておりますので、検出性が確認されております。

10 ページに戻っていただきまして、測定精度についてでございますけれども、今回行いました試験体及び実機廃材による測定では、適切な探触子を用いることで $\pm 0.5\text{mm}$ 程

度の誤差で肉厚測定ができる可能性があるということを確認しております。

今後でございますけれども、今回やった範囲ではよさそうだということは確認しておりますが、UTを斜めに当てるとということで、口径や肉厚の変化によって送信から受信までの距離が変わるとということで、超音波の散乱等を考えると、もうちょっと種々の形状の試験体を用いた検証をする必要があるのではないかと考えています。特に測定精度について影響を把握する必要があるのではないかと考えています。最終的にはこの検討結果を踏まえて、標準的な測定要領を定めて規格化に向けた検討を進めていきたいと考えております。

3つ目でございますけれども、12ページ、今度は補強板下部の肉厚推定手法でございます。13ページに写真が載っておりますけれども、枝管の周りに補強板がありますと、ここからダイレクトに測定できませんので、この部位の肉厚をどのように検討するかでございます。これは実機のフィールドデータからそれを予測するというところでございます。調査期間中に実施可能なT管の穴の種類の肉厚測定を行っております。

その結果として13ページの右下に絵が描いてございますけれども、これはT管の合流部の一例として書いております。減肉部位としては合流部から下流側にウサギの耳のような減肉傾向があるのが一般的かと思っておりますけれども、最大の減肉場所というのが必ずしもいつも一定ではございませんでした。それはやはり上流側との関係や、枝管と母管の径や流れの関係で影響を受けているんだと思うんですけれども、最大減肉場所というのはばらばらであるということを確認しています。

今、実際に使われている補強板の大きさも併せて寸法をはかっておりまして、これは大体一定の大きさの範囲内であるということを確認しております。

14ページ、これを使ってどのように最大減肉の程度を予測するかということでございますけれども、今まさにデータをつくって蓄積しているところですが、ここにその考え方を書いております。上に黄色の配管が描いてございますけれども、恐らく最も減肉しているだろうというところが例えばあって、その下部のどこか、下流のどこかにおいても最も減肉している場所があれば、その部位をどんどん長手方向にさかのぼっていくことによって、どこか最大減肉点に到達するのではないかとということでございます。

それを図に示したものがその下に書いていますグラフでございます。今回は廃材等で調査を行いましたので、実際に補強板範囲の補強板の下部の肉厚もはかることができます。なのでこのようなグラフに示しますように、補強板の外から補強板の中、最後は穴部の際まで至る減肉率のデータをデータベース化しつつあります。相関があるのではないかとということで見通しを得ております。

今後でございますけれども、今のところまだ数十点のデータでございますので、今後は更にこれらのデータを蓄積していくことで、この手法の精度向上を図っていくことを考えております。

最後でございますが、15ページからT継手のクロッチ部の肉厚管理手法についての検討でございます。

16 ページ目の絵をごらんいただきたいと思いますが、この肩部でございますが、やはり非常に曲率が厳しい状況でございますして、UT の端子が我々は通常今は 7 ~ 11mm 径のものを使っておりますが、これではやはり接触性が悪くて実際に測定が困難であるという状況でございます。そこで、もっと小型の径の探触子を用いて測定精度等を検討してみたものでございます。

17 ページに結果だけ書いてございますけれども、結果としてクロッチ部の測定をすることが可能でございました。ただし、やっていくに当たってわかってきたことは、想像はしてはございましたが、やはり径が小さいということで UT を垂直に当てるのが結構難しく、現場等で適用するに当たっては、もっと操作性のことを考えていく必要があるのかなと考えておまして、そこら辺については今後も検討していく予定にしております。

最後別紙といたしまして 1 枚付けております。今、御説明をした 4 つの検討について、最終的にはこれらを合流させて分岐合流部の管理について規格等に反映させていくということ、事業者としては考えております。

以上でございます。

宮主査 どうもありがとうございました。何か御質問、御意見ございますでしょうか。小林委員、どうぞ。

小林委員 一番最後の JIS 規格品 T 継手で、口径の大きいものはだめなだけども、どのぐらいの小口径まで対象にしているかですが、多分御存じだと思いますけれども、電気協会で放射線透過試験の減肉測定の規格も既につくっているわけです。あれは小口径で T 継手に極めて有効だと思いますから、それは是非検討していただきたい。それでできる場所は小口径はいいと思うんです。それ以上の口径で超音波の開発ということになると思うので、その辺の仕切りを検討していただいた方がいいと思います。

日本原子力発電（大平） ご指摘ありがとうございます。電気協会での議論の状況もフォローさせていただきながら、検討をすすめていきたいと存じます。

小林委員 7 ページで T 継手の破裂試験をやられて、この御説明でシェブロンマークが走っているという御説明でしょう。そうすると脆性破壊しましたということですね。要するに機械学会で維持規格をつくるときに炭素鋼、配管、低合金鋼の配管の破壊評価で脆性破壊は抜いているんです。日本の場合にはフェライト鋼の配管が壊れるモードは塑性崩壊、延性破壊か弾塑性破壊しかない。ASME 規格は脆性破壊を入れているんです。それは十分に検討して、日本の配管は非常に材質がいいから ASME みたいな心配は要りませんと思いつたわけです。本当に脆性破壊しているかどうか、試験体が一体何ですかと、実際に使われているような試験体ですかというのは、ちょっと検討していただきたい。

日本原子力発電（大平） ありがとうございます。まず試しに 1 つやってみたことでございまして、この後も続けて破裂試験は計画しておまして、その中で御指摘の件についても事業者として検討したいと思っています。

宮主査 ほかにいかがでしょうか。野本委員、どうぞ。

野本委員 済みません、よくわからないというか、私は具体的なことはよくわかっていませんが、16ページの絵で検査法だということはわかるのですが、16ページのようなものは規格品ですね。溶接継手で作ったものではないですね。

日本原子力発電（大平） そうです。

野本委員 それで、このときの水の流れというのと、例えば14ページで補強板の下の減肉の厚さをはかりたいというのはわかりますけれども、補強板があるということは溶接継手ですね。

日本原子力発電（大平） はい。

野本委員 そうすると減肉とかいう現象は異なるように思われます。それから、崩壊の仕方の検討も含めて減肉のメカニズムというか流体の流れが全く違うので、同じように考えてただはかればいいというよりは、もう少し現象を理解して計測していただいた方が有効かなと思いました。特に補強板については補強板をすみ肉溶接していますね。そういうような影響とか材質的なものとか、計測方法だけでなく、対象物の構造を含めて少し広く考えていただければ有効にならないかなと思いました。

日本原子力発電（大平） 御指摘ありがとうございます。おっしゃるとおりT管については補強板があって、配管をダイレクトに付けているだけだと肩部の角度がT管とT継手で違うと思っておりますので、今日は御紹介しておりませんけれども、流れの解析等も含めながら減肉の減少そのものまず把握するという取組みも行っております。今日は御報告させていただいたような管理のことを考えたときの、測定についての手法の取組みでございます。これらを最後には規格に反映できたらと考えております。

宮主査 よろしいですね。それでは、長い時間のご検討ありがとうございます。また、時間が超過して申し訳ございません。いろいろ活発な御意見をいただいて感謝します。

それでは、以上で審議を終了したいと思います。審議内容についてお気づきの点があれば、1月28日までに事務局に御連絡していただければ幸いです。

それでは、事務局に返します。

石垣統括安全審査官 ありがとうございます。今、先生からもお話がありましたように、今日は資料が大分多くなってございましたので、後ほどお気づきの点などございましたら1週間目途ぐらいで、御指摘なりコメントなりをいただければありがたいと思います。

次回の日程につきましては、また私ども事務局の方から個別別途に御相談をさせていただければと思っております。よろしくお願ひしたいと思います。

宮主査 それでは、第35回のWGをこれで閉会といたします。御協力ありがとうございました。

問い合わせ先

原子力安全・保安院 原子力発電検査課

TEL:03-3501-9547

FAX:03-3501-1848