

健全性評価制度の現況と今後の取組みについて

平成18年4月27日
原子力安全・保安院

原子力安全・保安院は、健全性評価制度の導入より一定期間を経過したこと、制度導入時に課題とされていた低炭素ステンレス鋼に生ずるき裂等の欠陥に関する検査・評価制度が整備されたこと、さらに、東京電力(株)福島第二原子力発電所第3号機における超音波探傷試験の誤判定の事例を受けて、従来までの取組みを検証するとともに、今後の短期的課題及び長期的課題について取組みの考え方を別添のとおりまとめた（平成18年4月26日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に報告）。

平成15年10月に導入された健全性評価制度は、通商産業省資源エネルギー庁（当時）による検討、その成果も踏まえた日本機械学会による「維持規格（2000年版）」に基づき、科学的合理性のある規制制度として導入したものであるが、その導入に先立って、平成14年8月に明らかになった自主点検記録問題に対応している。自主点検問題への対応、健全性評価制度の整備・高度化に当たっては、原子力安全委員会に報告し、原子力安全委員会の意見を踏まえて取り組んできたところである。

具体的には、健全性評価制度導入前には、原子力安全委員会（原子力発電施設安全性評価プロジェクトチーム）に対し、ひび割れ等が検出された炉心シュラウドや原子炉再循環系配管の健全性評価等について説明している。同制度導入に際しては、原子力安全委員会決定「健全性評価制度導入後のひび割れの安全性等に関する対応について（平成15年10月）」の中で、以下の事項が検討課題とされた。

原子力安全・保安院において、改良されたUT手法が健全性評価制度の適用に十分な信頼性があることが確認され、原子炉再循環系配管等について健全性評価制度の適用が検討される場合には、原子力安全・保安院から報告を受け、その妥当性について検討を行う。

定期事業者検査で事故・故障等に係る国への報告基準に該当するひび割れが発見された場合については、法令に基づき規制行政庁により発生原因や再発防止対策等について報告を受けるとともに、必要に応じ、その妥当性等について検討を行う。

本決定を踏まえ、原子力安全・保安院は、原子炉再循環系配管等について健全性評価制度に適用するに当たって、原子力安全委員会に適用の技術的妥当性を説明し、以下を概要とする原子力安全委員会決定がなされている（平成16年8月9日）

（原子力安全委員会における検討の中で技術的内容は妥当であると判断した事項）

- ・浅いひび割れの深さの測定値を基にして求めたばらつきの絶対値を、そのまま深いひび割れにまで適用することの妥当性

- ・総合的な健全性確保の考え方の中で、本件のひび割れの深さの測定値に関するばらつきの取り扱いの妥当性

- ・ひび割れの深さの測定値に関するばらつきを踏まえ、平成15年10月に導入された健全性評価を適用するに当たり、PD制度の整備が完了するまでの暫定措置として、追加的に要求する保守性の妥当性

（今後の留意事項）

- ・健全性評価制度の全体像とともに、類似の材料を用いた配管等に係る国際的評価方法に照らして十分な安全性が確保され得ることを、社会に対し更に判りやすく説明するとともに、応力腐食割れに係る安全への取り組みについて広く情報発信していくことが、国民への説明責任を果たす観点から望ましい。

- ・PD制度の確立とともに、実機検査が現場において信頼性をもって確実に行われるよう、規制行政庁が電気事業者等を指導していく必要がある。

今回の報告は、上記留意事項も踏まえ、原子力安全・保安院による健全性評価制度の今までの取り組みとともに、今後の取り組みの全体像を報告するものである。

健全性評価制度の現況と今後の取組みについて

平成18年4月27日
原子力安全・保安院

1. はじめに

平成15年10月に施行された改正電気事業法により、電気事業者に特定部位（クラス1機器及びシュラウド等）にき裂等の欠陥がある場合の健全性評価の実施及び同評価結果の報告義務を課し、また、検査や評価手法として原子炉安全小委員会で技術評価を行った日本機械学会維持規格を活用する健全性評価制度が導入された。

健全性評価制度は、通商産業省資源エネルギー庁（当時）による平成5年からの検討、その成果も踏まえた日本機械学会による「維持規格（2000年版）」（平成12年）に基づき、科学的合理性のある規制制度として導入したものである。

健全性評価制度は、欧米における適用実績もあり、また、学協会規格を十分な審議を経てその妥当性を確認して活用するものであるが、き裂等の欠陥の深さの測定には高度な技術を要すること等から、慎重な対応が求められる。

したがって、原子力安全・保安院（以下「保安院」という）は、保安院の行動規範である「科学的・合理的な判断」をもとに「業務執行の透明性」を確保するよう、健全性評価制度導入後においても安全研究の成果や国内外の事例を踏まえ、その高度化に努めてきたところである。

こうした中、東京電力㈱より、知見向上のために行った切断した配管の断面調査の結果、福島第二原子力発電所第3号機原子炉再循環系配管における超音波探傷試験の誤判定に関する報告があった。保安院としては、本事例は当初想定していなかった重大な知見であると判断し、東京電力㈱に詳細な調査を指示し、当該調査結果を受けて、再発防止の徹底を図るため全事業者に対して再発防止策を通知した。

今回、制度導入より一定期間を経過したこと、制度導入時に課題とされていた低炭素ステンレス鋼に生ずるき裂等の欠陥に対する検査・評価制度が整備されたこと、さらに福島第二第3号機の事例を受けて、従来までの取組みを検証するとともに、今後の短期的課題及び長期的課題について保安院の取組みの考え方をまとめる。

2. 保安院としての取組み

(1) 炉心シュラウド及び原子炉再循環系配管に関する検査の指示

健全性評価制度の導入に先立ち、自主点検記録問題への対応として、保安院は、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会に原子力発電設備の健全性評価等に関する小委員会（以下「健全性評価小委員会」という。）を設置し、炉心シュラウド及び原子炉再循環系配管に係るひび割れの存在する原子炉の健全性の評価について検討を行った（平成15年3月に中間とりまとめ）。この中で、応力腐食割れ（SCC）の発生原因とともに、これによるひび割れの超音波探傷試験（UT）による検出精度、

健全性評価手法の考え方等についても検討を行った。

この検討に沿って、保安院は、平成15年4月に沸騰水型軽水炉を設置する事業者に対し、炉心シュラウド及び原子炉再循環系配管の点検に関する指示文書を発出し、原子炉再循環系配管について5年を超えない期間毎に対象となる全ての溶接継手部の点検を実施すること等を指示した。(参考1 - 平成15年3月における知見のとりまとめ)

また、事業者は、このような保安院の取組みと併行して、東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所1号機における改良された超音波探傷試験(UT)のサイジング制度の確性試験をはじめ各プラントで実機配管の切断によるき裂等の欠陥深さ測定を含む測定精度確認のための調査を行った。(平成18年3月までの事業者の調査結果では、き裂等の欠陥と評価した継手のうち切断調査等を実施した継手数78に対して、き裂等の欠陥がなかった継手数は16である。参考2 BWR事業者による知見向上の取組み)

(2)健全性評価制度の整備

平成15年10月健全性評価制度の導入

平成15年10月に施行された改正電気事業法において、欠陥の評価・報告が義務化されるとともに、健全性評価に係る技術基準が整備され、定期事業者検査が制度上位置付けられた。具体的な検査手法や評価手法については、日本機械学会の維持規格を活用することとした。一方、低炭素ステンレス鋼管(原子炉再循環系配管)については、サイジング精度の信頼性が確認できないため、健全性評価制度の適用を見送った。

平成16年9月低炭素ステンレス鋼の条件付き追加

低炭素ステンレス鋼管に対する検査手法・評価手法を明確化し、健全性評価制度の対象に追加。ただし、超音波探傷試験に関する資格認定制度が適用されるまでの間、測定値に対して一定値の上乗せを行うことを要求した。
(参考3 - 改良UTによる深さ測定フローチャート)

平成18年3月低炭素ステンレス鋼管に対する条件解除

超音波探傷試験によるひび割れ深さの測定能力に関する認定制度(PD制度)が整備されたことを受けて、PD制度の認定を受けた検査に対しては、測定値に対して一定の精度があることが確認できることから、測定値に対する上乗せを解除した。
(参考4 - PD制度の概要)

(注)

- 超音波探傷試験によるひび割れ深さの測定能力は、検査員の技能のみならず、測定機器及び手順書とあわせて認定される。
- 日本機械学会維持規格及びPD制度に関する日本破壊検査協会規格に対する技術評価は、原子炉安全小委員会及びWGの審議、パブリックコメントを行った上で実施。PD制度の運用に当たっても、保安院職員が諮問委員会に参画し、その適切性を確認。

(3)健全性評価制度に基づく報告実績

健全性評価制度導入後（平成15年10月以降に開始された定期事業者検査）のき裂等の欠陥に関する報告実績（平成18年4月24日現在）は、クラス1機器に関して6プラント、シュラウド及びシュラウドサポートリングに関して8プラントである。これらの報告には、透明性の確保及び知見の蓄積の観点から、取替を行う計画のもの及び健全性評価制度導入前に特殊設計認可を受けたものを含む。
（参考5 健全性評価制度に基づく報告実績）

3．福島第二原子力発電所3号機におけるき裂等の欠陥の検出

東京電力(株)福島第二原子力発電所第3号機原子炉再循環系配管において、同社が実施した同配管の切断による断面調査の結果、定期検査期間中に実施したUTの際には確認されていなかったき裂等の欠陥が確認された。保安院よりも本知見を活用すべく、調査報告及び再発防止策の提出を求め、同社よりも、調査原因及び再発防止策の提出（調査報告書）（3月23日）、さらに新たに確認されたき裂等の欠陥も含めた健全性評価報告書が提出（4月19日）された。

調査報告書では、当該き裂等の欠陥については有意なエコーとして検出、記録されていたものの、検査員がひびの判定に当たって溶接裏波部からのエコーと誤判定したことを原因とし、溶接中心位置の明確化、2次クリーニング波法によって連続測定を行う際の感度の固定等を内容とする再発防止策がまとめられている。
（参考6 福島第二第3号機の調査及び再発防止策の概要）

保安院としては、専門家の意見も聴取しつつ、東京電力からの調査報告書に記載された誤判定に至った原因、対策等の内容については概ね妥当と判断し、さらに、本原因に基づく誤判定が再度行われぬよう、UTにおけるき裂等の欠陥の判定に当たっての留意事項等を明確化し、全事業者あて指示した。
（参考7 保安院より指示した再発防止策の概要）

保安院としては、本事例のような比較的浅いき裂等の欠陥に関する誤判定に関しては、当初想定していなかった重大な知見として、検出したエコーの判断が適切に行われるよう事業者を指導していくとともに学協会規格の改定に当たっても働きかけていくこととしている。他方、深いき裂等の欠陥を想定している角度制限規格は満たさないものの、技術評価中であるが、比較的浅いき裂等の欠陥も考慮した角度制限の見直し規格の許容条件は満たしているとの報告を受けており、また、深いき裂等の欠陥があった場合には本事例の原因（裏波部からのエコーと判断）に起因する誤判定が行われる可能性は小さいと考えられる。（角度制限に対する保安院の考え方は4.1(1)参照）

4．健全性評価制度に係る今後の取組み

健全性評価制度の高度化に当たっては、事業者による自主的な取組みも含めた最新の知見を反映し、常に規格基準を科学的合理性のあるものとして維持及び向上させた上で、資格認定制度の活用、事業者からの報告に対する評価等を通じて、その制度が

適切に実施されるよう取り組む必要がある。また、高度化を行うプロセスにおいては、公開性等を有する審議会・パブリックコメントの活用、要請に応じた説明会の開催等によりその説明責任を果たしていく必要がある。

4.1 短期的課題への取り組み

(1) 最新知見の反映

従来得られた検査又は評価結果、また、福島第二第3号機で行われたような交換した配管の調査が最も有効な知見であり、事業者の積極的な取り組みを前提に、こうした最新知見を共有し、さらに安全研究、学協会規格や規制基準に反映させることが重要である。

事業者による切断配管のき裂等の欠陥に関する調査結果の活用

事業者は、知見を蓄積する観点から、切断した配管のき裂等の欠陥に関する調査を今後とも継続実施する意向を有しており、そのための実施計画を策定中である。保安院としては、実施計画を受けて、当該調査がより客観的なものとなるよう、試験に対する規制当局の関与を明確化する。その際、健全性評価制度の基本的考え方を認識し、新たな知見について科学的合理性のある判断を行うこととする。

また、こうした知見は直ちに事業者間でデータベース等としての整備を通じて共有化され、検査員が当該知見を活用し、さらに、知見の内容に応じて、マニュアルへの反映や検査機器の高度化に反映されることが必要である。

き裂等の欠陥検出及びき裂等の欠陥進展評価に関する知見の総括

健全性評価制度に基づく報告実績、平成15年4月の保安院指示によるシュラウド及び原子炉再循環系配管に対する検査により、き裂等の欠陥の検出・未検出の実績、き裂等の欠陥の進展実績等のデータが蓄積されており、平成16年6月の第10回健全性評価小委員会「炉心シュラウド及び原子炉再循環系配管の健全性評価について - 検討結果の整理 - 」を参照しつつ、早急に、これらのデータに基づき新たに反映すべき知見をとりまとめる。

(2) 規格基準の整備

基本的考え方としては、(1)に述べた知見に基づき、学協会規格に反映されたものは学協会規格の技術評価を通じて、また、直ちに反映すべき事項は保安院からの指示文書として、規格基準に反映することとする。

現在までに学協会規格が整備されている事項、保安院として適用要件の明確化を行っている事項としては以下の項目があり、今までに原子炉安全小委員会に報告した方針に基づき、その整備を進めることとする。

< 検査分野 >

日本機械学会「維持規格(2004年版)(検査編)」

維持規格(2002年版)からの検査や評価手法について知見を踏まえて見直されており、また、シュラウド等の個別検査が追加されている。

前回原子炉安全小委員会の今後の技術評価計画の中で報告したとおり、技術評価をWGにおいて実施し、パブリックコメント等の手続きを経て、規制において活用する。

< 評価分野 >

日本機械学会「周方向欠陥に対する許容欠陥角度制限の代替規定（NA-CC-002）」

平成17年12月、日本機械学会は、既に技術評価を受けている「維持規格2002年版」の許容き裂形状の長さ制限（角度にして60度制限）に関して、合理的見直しを行い、上記事例規格を策定した。

前回原子炉安全小委員会の今後の技術評価計画の中で報告したとおり、本事例規格に関する技術評価を基準評価WGで既に実施しており、パブリックコメント等の手続きを経て、規制において活用する。

なお、維持規格2002年版における角度制限については、平成16年6月の原子炉安全小委員会において、原子炉再循環系配管の補修技術（ウェルドオーバーレイ（WOL）工法）に関連して、「十分な構造強度を有していても、健全性評価制度の際に60度制限が支配的となり、WOL工法のような配管肉厚の増加による構造強度対策が事実上否定される等の不合理を生じている。従って、早期に維持規格の合理的見直しが必要である」と保安院の見解を報告している。

（参考8 WOL工法に関する保安院見解～平成16年6月炉小委資料抜粋～）

日本機械学会「維持規格（2004年版）（評価編）」

と同様に対応する。

< 補修分野 >

補修

き裂等の欠陥を有する配管に対しては多くの補修方法（応力緩和等）が適用されており、それら補修方法の規制基準としての位置付けを明確化する。

また、WOL工法については、機器設計WGで検討したとおり、

- 肉盛りした溶接金属部（WOL部）を構造強度部材として位置付け、原配管に発生した周方向き裂等の欠陥が全周貫通しても構造強度上、問題のない設計
- 配管の交換と比較すると、施工が比較的容易であり、短期間で補修が可能等の特徴を有しており、健全性を確保する評価手法が簡易であり、作業者の被ばくや発生放射性廃棄物の低減等の観点から有効である。また、米国でもWOL工法は恒久補修工法として認められており、過去15年間に1000箇所を超える適用実績がある。したがって、平成16年6月原子炉安全小委員会で報告したとおり、角度制限規格の見直しの技術評価を早急に行い、導入に当たっての課題を解消し、本格的導入を図る。

なお、維持規格（2004年版）（補修編）については、個々の補修方法について規定されているが、設計建設規格や溶接規格との関係を整理しつつ、可能な規定については規制において活用する。

(3)PD認証制度の活用

PD認証制度の整備状況を踏まえ、可能な限り早く、PD認証制度に基づくPD資格者によりき裂等の欠陥のサイジングを行うことを明確化する。

(4)対外的説明

健全性評価制度の科学的合理性及び信頼性ととともに、常に最新の知見を反映して制度の高度化を図っていることの対外説明責任を果たす。

4.2 長期的課題への取組み

比較的期間を要する下記の事項については、長期的課題として、最新の知見を適切に規格基準や制度整備に活用する。

安全研究の実施

保安院、民間により応力腐食割れに関するき裂進展速度や非破壊検査技術の高度化の調査研究が進められており、同調査研究成果を適宜規格基準の整備に反映する。このような安全研究成果については、学協会規格に反映されるよう、学協会に適切に提供されることが重要である。

(参考9： 応力腐食割れ等に関する調査研究)

OECD/NEAを通じた国際的な情報交換

配管等に発生する応力腐食割れは、高経年化対策上も着目すべき経年劣化事象であり、その発生、検出及び健全性評価に関する知見を国際的に共有することが、的確かつ効果的な対策を進めるために重要である。このため、我が国の主導により、平成18年度から、OECD/NEAにおいて、このための国際協力プロジェクトを実施し、その成果を規制に活用する。

日本電気協会「軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験指針 (JEAG4207-2004)」の見直し

本規格については、平成16年8月に保安院として技術評価し規制に適用しているが、福島第二第3号機の超音波探傷試験の誤判定を受けて、検査手法の明確化等の見直しを提言している。今後、保安院としても、規格見直し作業に参画し、同規格を技術評価の上規制に活用する。

事業者においては、現状では基本探傷としての超音波探傷試験について手動による検査・記録保存が主として行われているが、今後、自動化やフェーズドアレイ探傷等の新技術の検討を行う意向が示されている。保安院としても、知見が情報共有されるとともに、マニュアルの整備のみならず、検査機器の高度化にも反映され、それが規格基準に反映されるよう取り組む。

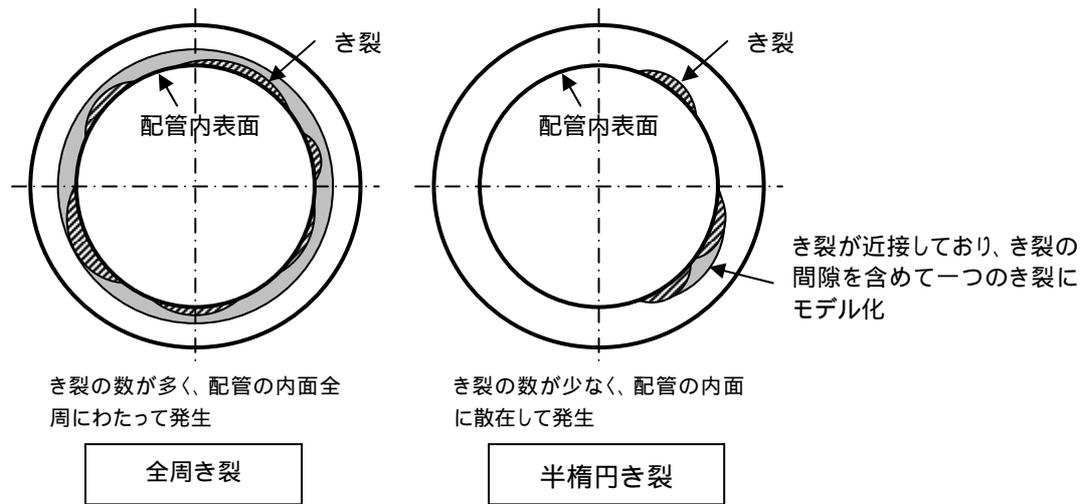
健全性評価制度の対象機器の拡大

維持規格(2004年版)では炉内構造物に関する検査・評価の規定が追加されていることを踏まえ、検査・評価・報告義務より構成される健全性評価制度につき対象機器の拡大を検討する。

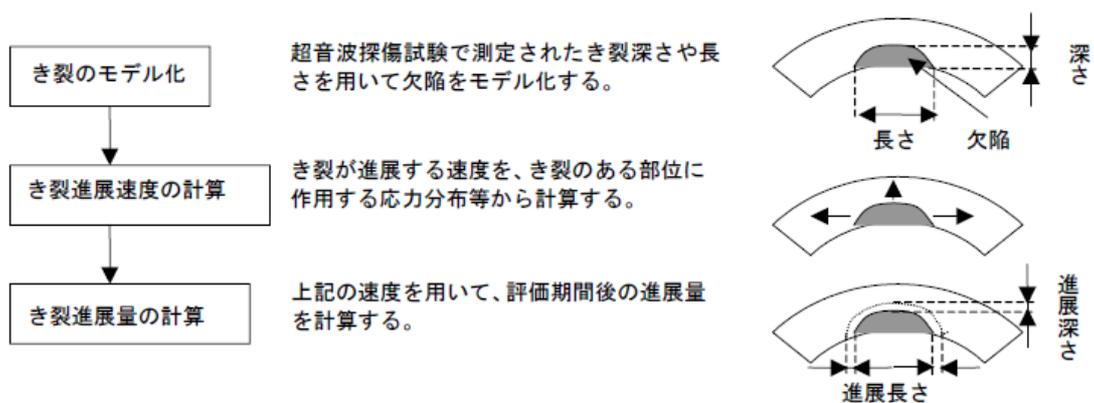
平成15年3月における知見のとりまとめ(健全性評価小委中間とりまとめ)

1. 欠陥のモデル化による健全性評価

炉心シュラウド及び原子炉再循環系配管の健全性評価の基本的考え方について検討が行われ、再循環系配管については、き裂の発生状況に応じて、評価のためのモデルが作成され、評価手法が検討された。



欠陥のモデル化の概念



き裂進展評価概念図(半楕円き裂の例)

2. 超音波探傷試験(UT)の検出精度の確認

ひび割れの長さ クリーピング波法によって測定を行うことが効果的
 ひび割れの深さ 溶接金属内部にまで進展しているひび割れについては、従来法(横波)による場合、測定深さと実測深さに比較的大きな差異が生じたため、このようなひび割れの検出に有効な改良法(縦波)による手法が有効

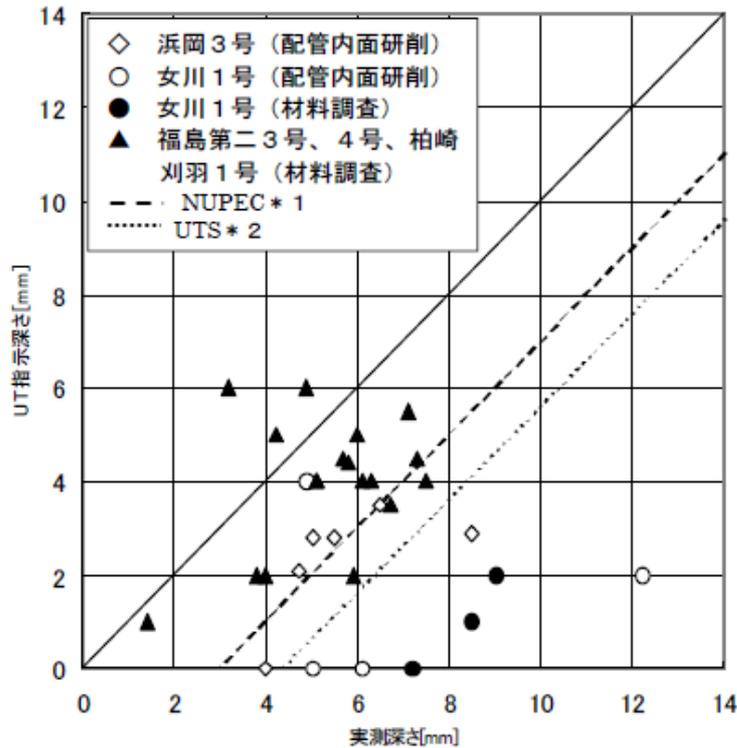


図 29 PLR配管欠陥の実測深さーUT測定深さの比較

- * 1 : (財)原子力工学試験センター(現 NUPEC)の原子力発電施設信頼性実証試験のうち、「供用期間中信頼性実証試験」データにおける精度
- * 2 : (財)発電設備技術検査協会「超音波探傷試験による欠陥検出性及びサイジング精度に関する実証試験」データにより、精度：平均値±標準偏差(2σ)として算出

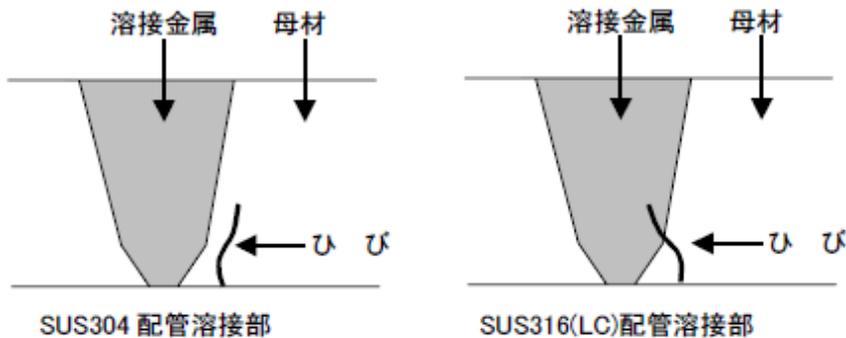


図 30 配管溶接部のひび割れの概念図

BWR事業者による知見向上の取組み

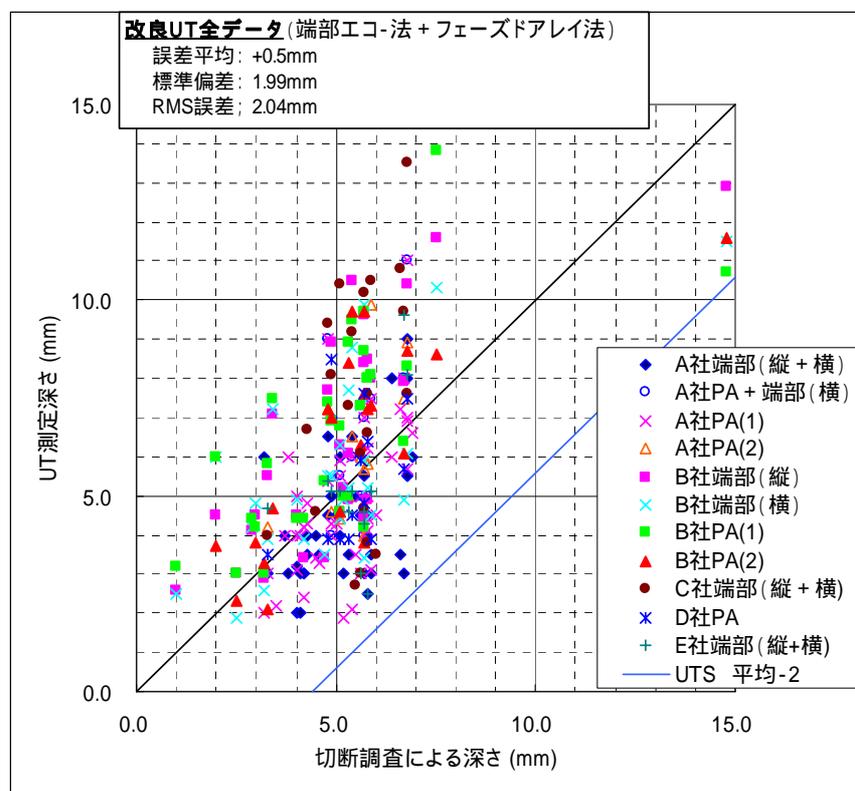
BWR電力各社において、東北電力(株)女川原子力発電所1～3号機、東京電力(株)福島第一原子力発電所1～6号機、福島第二原子力発電所1～4号機、柏崎刈羽原子力発電所1～5号機、中部電力(株)浜岡原子力発電所1, 3, 4号機、北陸電力(株)志賀原子力発電所1号機、中国電力(株)島根原子力発電所1, 2号機、日本原子力発電(株)敦賀発電所1号機、東海第二発電所の SUS316L系材で構成されている再循環系配管等の点検を実施し、以下のとおりひび割れ及びその兆候が確認された。ひび割れと評価した継手は切断して深さを実測し、改良UTとの測定値との比較した結果、一定の精度を有することが確認された。

平成18年3月31日現在(事業者調べ)

直近の原子炉停止時の点検継手数 (26プラントの合計)	超音波探傷試験でひび割れと評価した継手数	ひび割れと評価した継手のうち、切断調査等を実施した継手数	切断調査等の結果、ひび割れが無かった継手数
1687	125	78	16

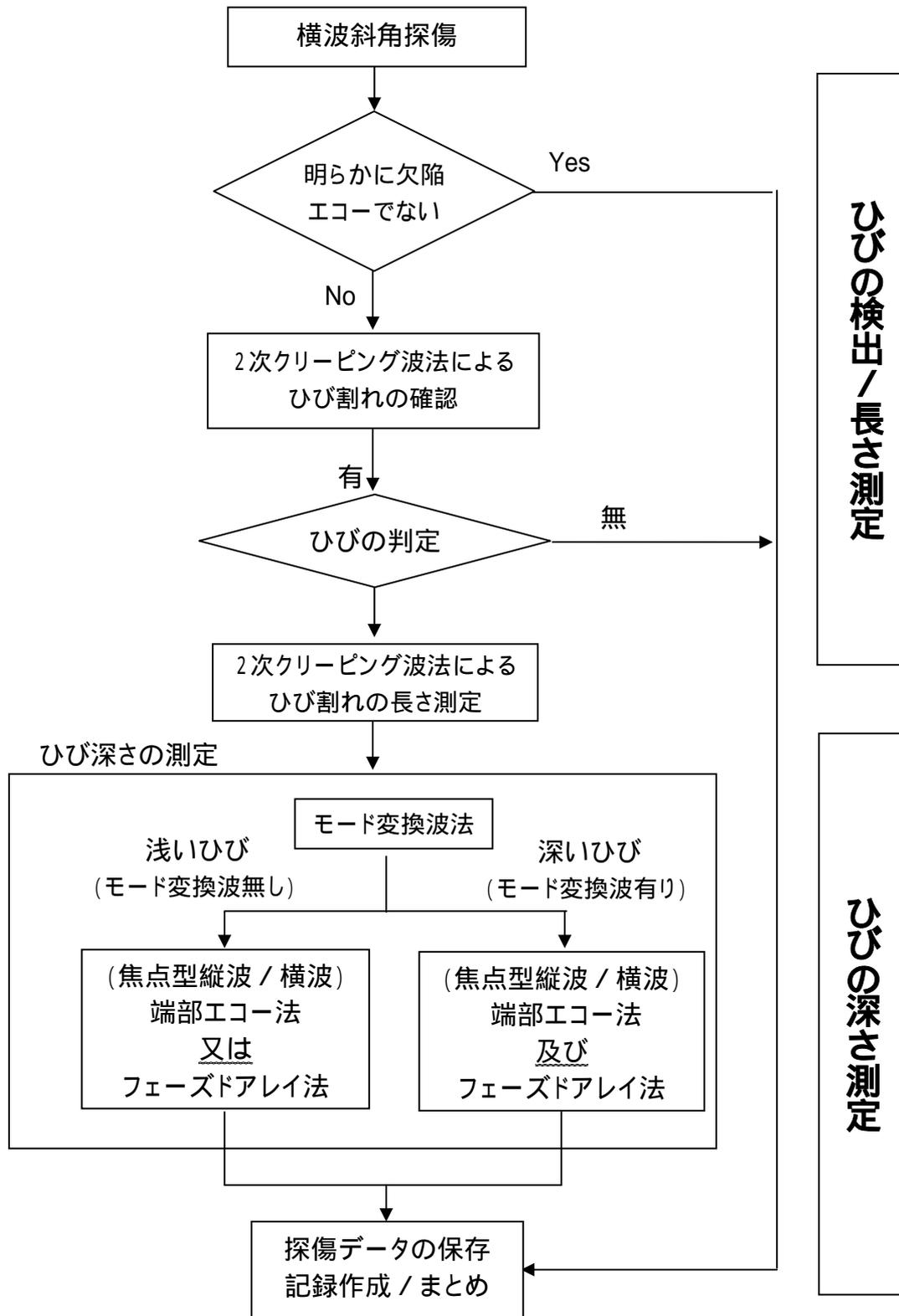
(注)超音波探傷試験でひび割れと評価した継手のうち、現在までに78継手の切断調査等(内面PTを含む)を実施した結果、16継手(女川1号機:1継手、柏崎刈羽1号機:12継手、柏崎刈羽2号機:1継手、柏崎刈羽3号機:1継手、柏崎刈羽5号機:1継手)についてはひび割れが認められなかった。

継手の調査結果



原子炉再循環系配管等の検査への改良超音波探傷試験の適用について(平成16年10月原子力安全・保安院)より

SUS316L系材製配管等についての改良UTによる測定フローの例



注1 使用される探傷装置については、同等以上の性能を有するものであれば記載のものに限定されない。

注2 深いひびとは板厚の20%程度以上もの(モード変換波法を使用する場合、モード変換波によるエコーがあったもの)をいい、浅いひびとはこれ以外のものをいう。

健全性評価実施状況一覧

平成18年4月24日現在

事業者	発電所	ユニット	報告日	評価対象部位	評価年月	評価結果及び対応
中部電力	浜岡	4号機	16.12.21	シュラウドサポートリング溶接部のひび割れ シュラウド下部リング及び下部胴のひび割れ	17.02	少なくとも今後5年は継続して利用
東北電力	女川	1号機	17.01.06	シュラウド中間部リング及び下部リングのひび割れ	17.02	少なくとも今後5年は継続して利用
中国電力	島根	2号機	17.02.09	P L R 配管のひび割れ	17.03	同一材料の配管に取替
四国電力	伊方	1号機	17.03.01	原子炉容器入口管台内表面の微少き裂	17.03	補修後継続して利用
東京電力	柏崎刈羽	3号機	17.04.13	シュラウド中間胴と下部リング溶接線外側近傍のひび割れ	17.04	少なくとも今後5年は継続して利用
中国電力	島根	2号機	17.04.13	シュラウド中間胴溶接線内側のひび割れ	17.04	少なくとも今後5年は継続して利用
東北電力	女川	2号機	17.05.27	シュラウドサポートリング内側のひび割れ	17.06	補修後継続して利用
中部電力	浜岡	3号機	17.05.24	シュラウドサポートリングのひび割れ シュラウドサポートシリンダ及びサポートレグ溶接部のひび割れ	17.10	補修後継続して利用
日本原子力発電	東海第二		17.07.13	シュラウドサポートシリンダ縦溶接線のひび割れ	17.08	少なくとも今後5年は継続して利用
中国電力	島根	1号機	17.07.20	P L R 配管のひび割れ	17.08	同一材料の配管に取替
東京電力	福島第二	3号機	17.08.18 18.04.19	P L R 配管のひび割れ	18.04	同一材料の配管に取替
東京電力	柏崎刈羽	2号機	17.11.04	シュラウド中間胴とシュラウドサポートリングの溶接線のひび割れ	17.12	少なくとも今後5年は継続して利用
四国電力	伊方	2号機	18.01.06	原子炉容器入口管台内表面の微少き裂	18.02	少なくとも今後5年は継続して利用
東京電力	柏崎刈羽	1号機	18.04.19	P L R 配管のひび割れ	18.04	継続検査を行いながら継続して利用

東京電力（株）福島第二原子力発電所第3号機の調査及び再発防止策の概要

原子力安全・保安院（以下「当院」という。）は、東京電力(株)から福島第二原子力発電所第3号機（以下「2F3」という。）の原子炉再循環系配管に係る超音波探傷試験の判定について、次のとおり報告を受けた。（次図参照）

1. 切断した継手等の断面調査、浸透探傷試験（以下「PT」という。）の結果、内表面のほぼ全周にわたりSCCによるものと思われるひびが確認され、その最大深さは約9mmであった。

2. 当該継手の超音波探傷試験時においては、横波斜角探傷法による超音波探傷試験（以下「UT」という。）において、ほぼ全周に亘ってDAC¹20%を超えるエコーが確認され、2次クリーニング波法²でもほぼ全周で断続的なエコーが確認された。さらにフェーズドアレイ法³においても全周に断続的なエコーが確認されている。

また、PT結果と2次クリーニング波法の結果が一部整合しない部位があったが、その他の試験結果においては、ひびは正常に検知されていた。

なお、当該ひびからと思われるエコーは前々回（第11回）及び前回（第12回）定期検査時の自主検査時においても検出されていたが、いずれも裏波エコーと判定されていた。

3. これらのエコーは次の理由から欠陥によるものではないと判定した。

詳細板厚測定に基づかない作図から、エコーの反射源位置は溶接部裏波の位置に該当すると判断した。

建設時の放射線透過試験（RT）記録では、裏波形状に凹みが認められること。（これにより2次クリーニング波によるエコーが発生した。）探傷結果から全周にエコーが確認されていたが、全周にわたるようなひびはあり得ないとの思い込みがあった。

過去の検査で裏波と判断していた。

また、PT結果と2次クリーニング波法の結果が一部整合しない部位があったことについては、ほぼ全周に亘る探傷で多数の反射源があったため、2次クリーニング波法の実施に際し探傷中の感度の調整が頻繁に行われ、調整ミスを誘発した可能性がある。

4. 2F3の事例に鑑み、類似事例として、現在定期検査中である柏崎刈羽原

1 校正用反射体のビーム路程によるエコー高さの変化を示す曲線

2 クリーニング波を発生させひびの開口部からのエコーを検出する手法

3 多チャンネル振動素子に供給する高周波電圧の位相を変化させることにより、探触子を移動させることなく広範囲の試験が実施できるもの

子力発電所1号機原子炉再循環系配管（高周波誘導加熱応力改善法施行済）の2継手について検証調査を実施した。

その結果、過去の2次クリーニング波法の結果を参照して詳細調査を実施していない箇所の一部に超音波の反射源（4箇所の面状欠陥：深さ約3～6mm程度）が確認されており、より適切な判定手順を明確にすべきことが判った。

5. 再発防止対策として以下を実施する。

ひびの判定の際、溶接中心位置が不明確なものについては垂直探傷等によって中心位置を明確にして行う。

今回の事例について検査会社、社内及び学協会で情報を共有する。

2次クリーニング波法の結果、ブラウン管全目盛の10%を超えるエコー高さが検出された場合のひびの有無について判定するに当たっては、第三者を交えて評価する。

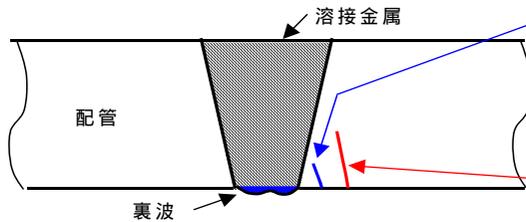
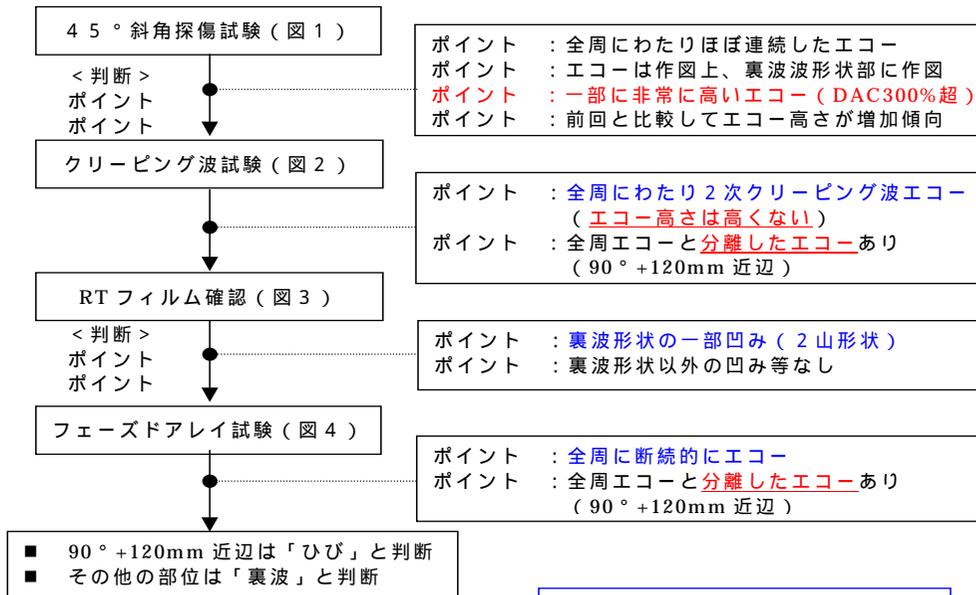
2次クリーニング波法により連続測定を行う際は、感度を固定等して行い、操作ミス防止を図る。

2次クリーニング波法を実施した継手については追跡調査を行う。

2次クリーニング波法を実施しエコーが確認された場合は端部エコー法等による詳細調査を実施する。

6. 新たに確認されたひびを含めた健全性評価の結果については、PTの結果からほぼ全周にひびが確認され、維持規格2002年版に規定するひびの許容欠陥角度（周方向長さから求めた角度）である60度を満足しないと評価された。

ひび判定経緯の概要



「裏波部」と判断
全周でエコー (45°斜角)
反射限位置が裏波形状部
全周でエコー (クリーピング)
裏波部に2山形状 (RTフィルム)

「ひび」と判断
非常に高いエコー (45°斜角)
分離されたエコー (クリーピング)
RTでは反射源がない
フェーズドアレイで有意なエコー

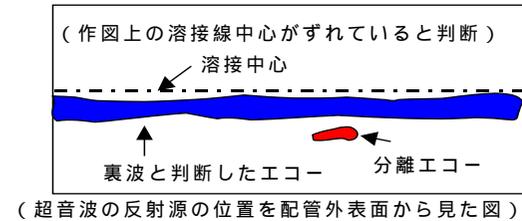
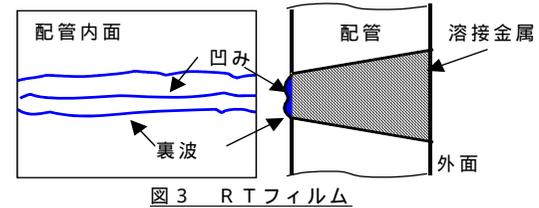
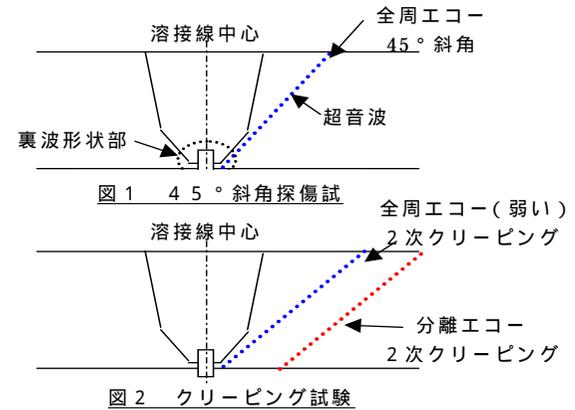


図4 フェーズドアレイ

保安院より指示した再発防止策の概要

1. 東京電力(株)報告内容に対する評価

当院は、東京電力(株)からの報告内容について、総合資源エネルギー調査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に属する専門家の意見も聴きつつ、2次クリーニング波法による欠陥と判定するための手順、感度校正の妥当性等に着目して、関連規格、試験要領書、試験データ等を基に評価・検討した結果、概ね妥当と判断しました。

2. 定期事業者検査における同様の事例の確認

定期事業者検査として実施されたUTの結果について、2F3のような事例(2次クリーニング波法によってエコーが確認され、裏波エコーと判定しているもの)が適切に判定されているかについて、当院が実施した定期検査結果も含めたUT記録を再検証した結果、同様の事例は確認されませんでした。

3. 事業者に対する指示

本評価・検討を踏まえ、今後のUTの信頼性向上の観点から原子炉再循環系配管に対してひびの判定をするに際して、2次クリーニング波法等によって欠陥検出判定を実施するに当たっての手順等を明確化するため、次の内容について、平成16年9月22日付け平成16・09・18原院第1号「発電用原子力設備における破壊を引き起こすき裂その他の欠陥の解釈について(NISA-322c-04-4/NISA-163c-04-3)」の別紙1「非破壊試験の方法について」に追加することとしました。

き裂であるかどうかを2次クリーニング波法により評価するに当たっては、同法による有意なエコー(ブラウン管全目盛の10%を超えるもの)は、原則としてき裂からのエコーと評価すること。ただし、このエコーにはき裂からのもの以外に裏波部からのものも考えられることから、このエコーをき裂からのものではないと評価する場合には、詳細な作図により溶接部近傍からのエコーではないことが確認されること、端部エコー法により端部エコーが確認されないこと又は探触子入射点が接近しすぎていること等の十分な根拠を示すこと。

以上を踏まえ、2次クリーニング波法によるき裂の判定に当たってはJEAG4207-2004に規定する方法に以下を補足した方法で判定を行うこと。

- a) 溶接部裏波の位置近傍より有意なエコーが検出された場合には詳細な垂直探傷(概ね2.5mm間隔)による板厚測定等により溶接中心位置を確実に把握すること。
- b) 過去の探傷結果を参考にする際に、JEAG4207-2004発行以前に行わ

れた2次クリーピング波法による探傷結果を用いて行おうとする場合は、対比試験片、感度校正方法、探傷感度等を JEAG4207-2004 と比較し、その違いが探傷結果に与える影響を適切に評価した上で用いること。

- c) 2次クリーピング波法により全周に亘る探傷で多数の反射源があり、き裂が断続的に長いと推測される場合は、2次クリーピング波法の探傷を基準感度との相互切り替えによる読み違いの防止を確実なものとするため、必要に応じて探傷感度を一定の値に固定すること。また、当該基準感度の探傷感度への再調整を実施する場合には、横波斜角探傷の感度校正に用いた対比試験片等の確実な溶接健全部を使用すること。
- d) 2次クリーピング波法によるエコーをき裂からのものではないと判断する場合には、判定結果について第三者を交えて評価する体制で行うなど客観性を確保して行うこと。

4. き裂等の深さ測定との関係整理

2次クリーピング波法による欠陥判定では、基準感度による探傷を行った場合、一般的に裏波部エコーは徐々に立ち上がり徐々に下がるが、欠陥エコーは急激に立ち上がり急激に下がることから、裏波と欠陥の判定に有効な手法であり、本件はこの有効性に影響を与えるものではありません。

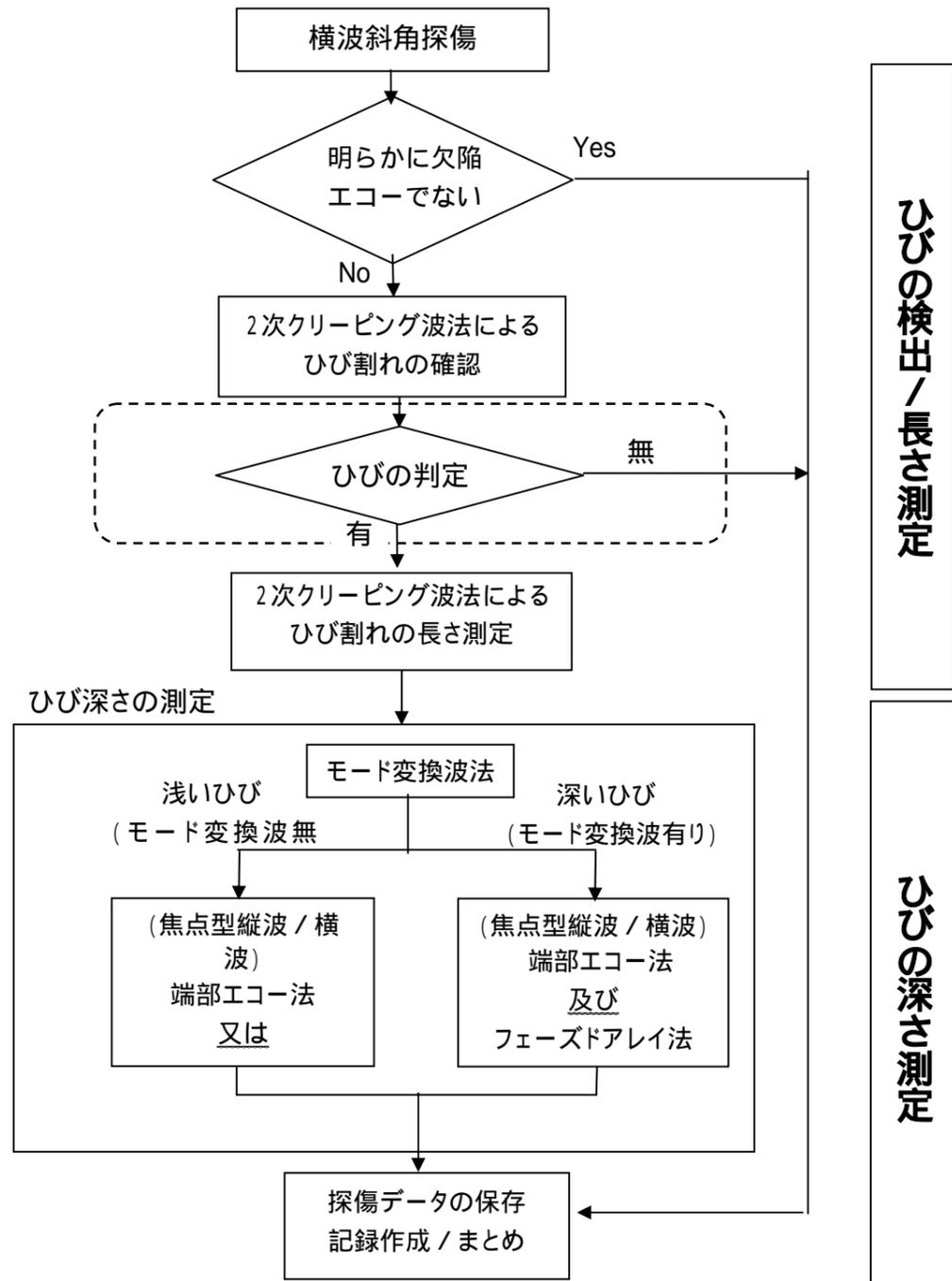
また、本件事象は、2次クリーピング波法によるひびの検出に係る問題であり、長さ測定までを含めた当該手法による測定が適切に実施され、き裂等の深さ測定の範囲が明確に特定されれば、その手順、手法に影響のあるものではないと考えます。

5. 規格への反映

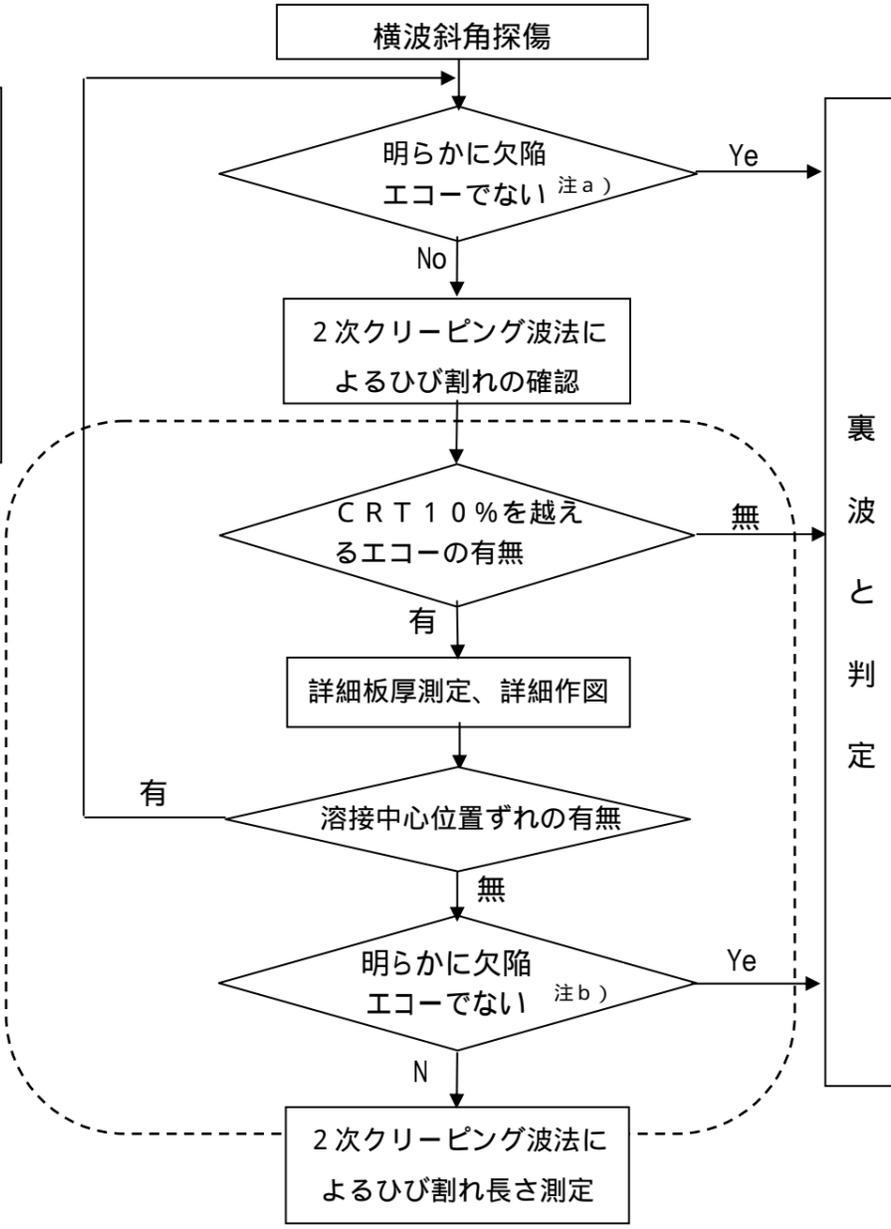
保安院は、現行のUTに係る規格「軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験指針（JEAG 4207-2004）」の改定に向けた策定作業に参画し、今回の事象を踏まえた対策が規格に適切に反映されるよう要望していくこととします。

ひびの判定明確化のための評価フロー（例）

別 図



溶接部裏波の位置近傍よりUTにて有意なエコーが検出された場合には右図のフローによりひびの検出を行う



注1 使用される探傷装置については、同等以上の性能を有するものであれば記載のものに限定されない。
 注2 深いひびとは板厚の20%程度以上もの(モード変換波法を使用する場合、モード変換波によるエコーがあったもの)をいい、浅いひびとはこれ以外のものをいう。

注 a) P S Iでの探傷データ、R T記録、施工図、開先形状図、内面の仕上げ状態、溶接施工法、工場溶接又は現地溶接、厚さ計測等を考慮して判定する。なお、過去の2次クリーピング波法による探傷データを参考とする場合は、JEAG4207-2004との差異を適切に評価した上で用いること。
 注 b) 必要に応じて縦波端部エコー法等を用いて測定を実施し判定する。また、判断に当たっては判定結果を第三者的に評価する体制で行うなど客観性を確保して行うこと。

S U S 3 1 6 L系材製配管等についての測定フローの例

原子炉再循環系配管の補修技術（ウェルドオーバーレイ（WOL）工法）の検討について

平成16年6月1日
原子力安全・保安院

1. 検討の背景

昨年10月の電気事業法の改正に伴い、原子力発電設備を設置する事業者は、検査によりひび等が発見された場合には健全性評価（き裂の進展予測、破壊評価等）を行うことが義務付けられた。健全性の評価に当たっては、民間規格である日本機械学会維持規格を国の規制基準として活用することとなったが、補修が必要となったときの補修基準については、学・協会規格が未整備の状況であった。従って、補修に係る技術であって従来我が国で適用事例のない新たな技術等の導入を事業者が検討する場合に、学・協会規格が制定され国の基準として活用が可能となるまでの間、現行法令に基づく基準への適合性や現行基準に定めのない場合の特殊設計認可に際しての技術的判断について、専門家の審議を踏まえた透明性の高いプロセスを経て、新たな技術等を導入する仕組みを確立しようとしたものである。

2. 検討の経緯

昨年9月に開催された第11回原子炉安全小委員会において、上記方針が了承され、具体的案件としてBWR（沸騰水型軽水炉）6事業者から当院に対し原子炉再循環系配管の補修技術として米国等で一般化されているWOL（Weld Overlay）工法の導入についての照会があったことから、技術的・専門的事項について原子炉安全小委員会の下に設置されている「機器設計ワーキンググループ」に検討が指示された。

「機器設計ワーキンググループ」は、昨年10月以降6回の会合を開催し、その技術的妥当性の評価を行った。評価の検討に当たっては、設計・施工・供用開始後の検査といった段階毎に技術的妥当性を整理した。

3. WOL工法の技術的妥当性の検討

WOL工法は、SCC（応力腐食割れ）が原子炉再循環系配管等に発生した場合に、SCC進展の可能性が極めて低い（フェライト含有量の高い）溶接金属を配管の外表面全周にわたって複数層肉盛することにより、配管強度を向上させるものであり、加えてき裂進展の抑制効果を期待するものである。

従って、構造設計、溶接設計・施工の確実性を担保するため口径、厚さ、適用可能き裂等の適用範囲を明確に規定する必要がある。

以下に「機器設計ワーキンググループ」における技術的妥当性の評価ポイントをまとめた。

○ 構造設計

WOLの構造設計上のポイントは、溶接により肉盛された部位が強度部材となることから、WOLの厚さ、長さ等が適正に設計されることであり、特に原配管（WOLを施工する前の状態）部にき裂を残したことによる欠陥のモデル化、負荷条件の設定を行った上での破壊力学的評価手法等を用いるものであるが、適用可能範囲において適切な設計が可能と評価された。

○ 溶接設計・施工

WOLの根幹である溶接設計及び施工管理については、「ウェルドオーバーレイ溶接工法溶接解釈補遺」及び「同解説」のとりまとめが行われた。なお、溶接の適用条件（溶接方法、溶加材等）については、別途「電気設備技術基準機能性適合調査溶接検討会」で妥当性が確認された。

○ 検査方法

検査範囲として、「溶接により肉盛された部位」に加え「原配管の25%厚さを加えた深さ」の範囲を検査することにより、き裂の進展傾向を把握すること。WOLに関する検査手法については、我が国に明確なUT検査要求規定や検査実績がない一方、米国において多くの適用実績があることを踏まえ、米国NRCにより承認されたASME Section XIの規定を参考として、検査手法を適切に設定することにより適用が可能とされた。

○ 技術の検証

WOL工法は、米国等において20年以上の実績があり、米国R&Dデータに加えて事業者による確性試験により信頼性が確認されていることから、十分な検証がなされているものとされた。

これらのことから、WOL工法は、技術的には妥当なものと評価された。

4. WOL工法の法的取り扱い

WOL工法に対する現行法令の適用については、「発電用原子力設備に関する技術基準（省令第62号）」及び「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（告示第501号）」の各条項に照らし、評価しうるものであるが、これら各条項は一般的な定義における配管に係る構造等の技術基準であり、肉盛溶接で補修したWOL配管の構造等について定めたものではないことから、WOL工法の施工は特殊設計施設の認可事項とすべきものとした。

一方、WOL工法により補修を行った後、当該配管は供用期間中において、健全性を確保することが求められるため、供用期間中において配管に存在するき裂形状が維持規格の規定を満たす必要がある。

しかしながら、現在の日本機械学会維持規格（JSME S NA1-2002）では、構造強度上の健全性に加え、LBB（Leak Before Break：破断前漏えい）の成立性も規定し、許容き裂形状に長さ制限（角度にして60度制限）を設定している

ので、WOL工法は全周き裂を想定し保守的に構造強度評価を行っているにもかかわらず、中心角60度を超えるき裂には適用できない。

その結果、十分な構造強度を有していても、健全性評価の際に60度制限が支配的となり、WOL工法のような配管肉厚の増加による構造強度対策が事実上否定される等の不合理的を生じている。従って、き裂の構造強度上の健全性を評価するという維持規格の要件に照らし、早期に維持規格の合理的見直しが図られることが必要である。

また、当面限定的に適用する際には60度制限を超えていないことを確認する必要があるが、既に多数の適用事例のある諸外国では、このような制限が設けられていないことから、我が国において検査性の検証を行う必要がある。

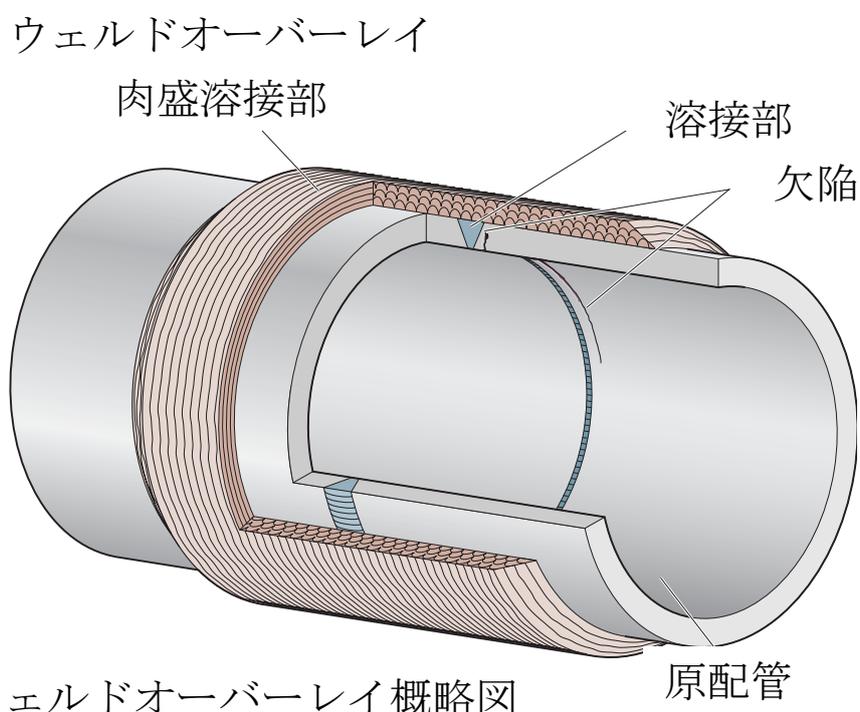
このように供用期間中の健全性確保については、維持規格との関係において一部課題を残しているものの、それが解消されれば、工事計画認可及び特殊設計認可の手続きを経て、当該補修工法による設計の妥当性を確認することにより、法令上も適合性のあるWOL工法による設計・施工が実現できる。

5. 今後の対応

「機器設計ワーキンググループ」としては、WOL工法の技術的妥当性を評価し、我が国においても適用上の問題はないことを確認した。

WOL工法は、既に諸外国において20年以上にわたり1,000件を超える実績を有する補修工法であるが、我が国において本格的に適用していくためには、補修後の供用段階における維持規格の適合性の観点から、今後課題の解消に努め、課題が解消した段階で、最終的なWOL工法の我が国における適用についての報告を本小委員会に行うものとする。

(参考図) ウェルドオーバーレイ (WOL) 工法



応力腐食割れ等に関する調査研究について

応力腐食割れ及び非破壊検査技術に関する調査研究については、これまでも官民それぞれの立場から実施されており、かつ現在も行われているところである。国は各種調査や研究を実施することにより、安全規制当局として民間規格や健全性評価の妥当性を判断するために必要な最新の技術的知見を系統的に収集する。これにより、現行基準の妥当性の評価や新たな規制基準の制定に資することを目的としている。これに対し、電気事業者を始めとする民間は、さまざまな条件における応力腐食割れ発生感受性／発生寿命の把握・評価や代替材料の開発による応力腐食割れの発生抑制、ならびに、応力腐食割れ発生・進展に関する学協会規格の基礎となる知見の収集を目的として、多数の比較的小規模な調査研究を進めている。以下に主なものを示す。

1. 国による調査研究

① 原子力用ステンレス鋼の耐応力腐食割れ実証事業

実施主体：(独)原子力安全基盤機構

実施期間：平成15年度～平成19年度

実施概要：低炭素ステンレス鋼の応力腐食割れ進展のメカニズム解明試験及び、応力腐食割れ進展速度試験を実施する。これにより、応力腐食割れき裂進展に対する応力拡大係数の影響評価と現行の評価手法が妥当な範囲を確認するとともに、新たな健全性評価手法の策定に資する。

② 照射誘起応力腐食割れ評価技術調査研究

実施主体：(独)原子力安全基盤機構

実施期間：平成12年度～平成20年度

実施概要：中性子積算照射量の大きい炉心シュラウド等を対象として、長期運転を考慮した60年運転の照射量までの、通常水質と改良水質での照射誘起応力腐食割れき裂発生、進展及び許容欠陥寸法(破壊靱性特性)の照射量依存性のデータベースを構築する。これにより照射誘起応力腐食割れ評価方法の見直しを行い、信頼性及び説明性の高い規制基準の策定に資する。

③ 原子力発電施設検査技術実証事業

(超音波探傷試験における欠陥検出性及びサイジング精度の確認)

実施主体：(独)原子力安全基盤機構

実施期間：平成7年度～平成16年度

実施概要：事業者において行われている種々の超音波探傷試験等について、応力腐食割れ等を付与した模擬試験体を用いて欠陥検出性及びサイジング精度を確認する。これにより、検査方法や検査時の配慮事項を取り纏め、超音波探傷試験指針案を策定した。

④ 低炭素ステンレス鋼の非破壊検査技術実証事業

実施主体：(独)原子力安全基盤機構

実施期間：平成15年度～平成18年度

実施概要：事業者において行われている種々の超音波探傷試験等について、応力腐食割れを付与した低炭素ステンレス鋼模擬試験体を用いて欠陥検出性及びサイジング精度を確認する。これにより、検査方法や検査上の配慮事項を取り纏め、事業者が検査に際して従うべきガイドラインを提案する。

2. 民間による調査研究

① 実機構造部材の応力腐食割れ評価研究

実施主体：電気事業者、メーカー

実施期間：平成15年度～平成18年度

実施概要：応力腐食割れ抑制対策を含むさまざまな実機施工条件を模擬して製作したシュラウド材や配管材による応力腐食割れ試験を実施し、応力腐食割れの発生条件や感受性を把握する。

② 高温純水中における低炭素ステンレス鋼の応力腐食割れメカニズム研究

実施主体：電気事業者、(社)腐食防食協会並びに公募応募者(大学、メーカ、JAEA等)

実施期間：平成15年度～平成17年度

実施概要：応力腐食割れの発生／進展及び溶接金属での応力腐食割れ発生／進展に関するメカニズムの解明研究。腐食防食協会公募により毎年9件程度のメカニズム研究を実施。

③ 低炭素ステンレス鋼の実機環境中における応力腐食割れ発生・進展に関

する研究

実施主体：電気事業者、海外研究機関、海外発電事業者

実施期間：平成16年度～平成21年度

実施概要：応力腐食割れ抑制対策を含むさまざまな実機施工条件を模擬して製作した試験片ならびに実機再循環系配管材を用いた原子炉水環境下での長時間応力腐食割れ試験により応力腐食割れ感受性・発生寿命評価を行う。

④ ステンレス鋼の応力腐食割れに及ぼす微細組織の影響評価研究

実施主体：電気事業者、大学

実施期間：平成15年度～平成16年度

実施概要：実機炉心シュラウド材の微細構造の詳細調査及び評価を実施し、メカニズム解明ならびに詳細な発生条件の把握に資する。

⑤ 低炭素ステンレス鋼の応力腐食割れ特性の改善及び材料因子の影響評価研究

実施主体：電気事業者、メーカー

実施期間：平成15年度～平成16年度

実施概要：現行の低炭素ステンレス鋼の応力腐食割れ感受性評価と応力腐食割れ感受性にかかわる材料要因を評価し、代替材開発を行う。

⑥ 応力腐食割れき裂内部の酸化被膜特性評価研究

実施主体：電気事業者

実施期間：平成15年度～平成16年度

実施概要：実施概要：実機応力腐食割れき裂内部の微細構造の詳細調査及び評価を実施し、メカニズム解明に資する。

⑦ 環境助長損傷制御学

実施形態：寄付講座（東京工業大学）

実施期間：平成15年度～平成18年度

実施概要：リスクベースによる応力腐食割れ発生・進展の評価を実施。

⑧ 照射下における応力腐食割れ挙動の評価研究

実施主体：電気事業者及び JAEA（共同研究）

実施期間：平成12年度～平成17年度

実施概要：JMTR の炉内で BWR 模擬環境における応力腐食割れ発生・進展試

験を実施し、炉外照射後試験との比較評価を実施。

⑨ 照射誘起応力腐食割れ機構に関する基礎的研究

実施主体： JAEA

実施期間：平成17年度～平成21年度

実施概要：照射誘起応力腐食割れの支配因子探索のためJMTR、米国照射炉、イオン加速器などによる照射材を用いて試験研究を実施。

⑩ 超音波探傷試験による再循環系配管サイジング精度向上に関する確性試験

実施主体：(財)発電設備技術検査協会、メーカー

実施期間：平成15年3月～平成15年9月

実施概要：実機プラント再循環系配管の応力腐食割れに対し、各種の超音波探傷方法によりサイジング試験を実施し、サイジング精度向上のための確性試験を実施した。

⑪ WOL配管における超音波探傷手法の実機適用化に関する研究

実施主体：電気事業者、メーカー

実施期間：平成17年5月～平成18年6月

実施概要：応力腐食割れを付与したWOL配管について、各種の超音波探傷方法によりき裂進展状況の監視ができることを確認する。

PLR配管UT技術改善に係わる事業者の取組みについて

平成18年4月26日
電気事業連合会

1. 事業者の取組み

健全性評価制度は機器に確認された欠陥に対し、その進展を予測し、機器の強度や機能が維持されるかを科学的合理的な基準に基づき評価を行うものであり、平成15年10月に制度が確立されて以来、シュラウド、PLR配管等に既に適用されてきている。2F-3の事例はUTで「ひび」を検知していたものの評価において誤判断したもの、KK-1の事例は過去の検査から基本探傷に続くその後の検査を実施していなかったものであるが、事業者としてこれまでの制度の適用実績を踏まえながら健全性評価制度をよりの確に適用していくために、今後、UTの検査・評価技術について以下の取組みを実施していく。

2. UT技術改善策

(1) 知見拡充

今後、PLR配管UTの検査データについて情報共有を図るとともに、新たに配管取替えが生じた場合は、これまでの知見等を踏まえて取替配管の詳細調査を計画的に実施し、検査データとの比較検証を行う等、PLR配管UTに関する知見を拡充していくことについて、BWR電力大で取組んでいく。

(2) 判断レベルの向上

社内外の研修・教育等を活用し、事業者のUT検査・評価技術レベルの向上や第3者評価の活用等により、UTにおける判断レベルの向上を図る。

また、検査会社の検査員は必要な資格を有した者のうち、SCCのひびの検知について社内外の教育訓練を受けた者がPLR配管のUT実施にあたっているが、これらの訓練等を定期的の実施する等、判断レベルの維持向上に取組んでいく。

(3) 客観性及び記録保存性の向上

現状PLR配管のUTは基本探傷として手動による検査、記録採取が主体となっているが、フェーズドアレイ探傷等の新技術の導入（探傷の自動化による検査の均一性、詳細データの採取保存）や第3者評価等により検査結果の客観性、記録保存性の向上を図る。

(4) データベースの整備

これまでのUTデータ、モックアップ試験等により基本探傷における裏波部からのエコー、裏波、SCC欠陥からの2次クリーピング波の反射エコー等のデータ整備・拡充を実施し、UTの検査評価技術に係る知見のデータベース化を図り、UTの信頼性向上を図る。

(5) 規格基準等への反映

配管詳細調査、データ整備・拡充等で得られた知見、新技術等については、産業界として維持規格（日本機械学会）、超音波探傷試験指針（日本電気協会）等の規格に反映していくとともに、その結果を検査技術に的確に反映し改善に取組んでいく。