

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	TKK補-II-1 改12
提出年月日	平成30年4月26日

東海第二発電所 特別点検
(原子炉压力容器)

補足説明資料

平成30年4月26日

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、枠囲みの範囲は、営業秘密又は
防護上の観点から公開できません。

4. 点検結果

原子炉圧力容器における特別点検対象部位の点検結果を以下に示す。各点検実施日を添付資料9に示す。

4. 1 母材及び溶接部

原子炉圧力容器外面からの点検については、平成26年10月25日から平成26年12月19日、及び平成28年1月23日から平成28年3月2日までの間で実施した。ジェットポンプライザーブレースアーム溶接部の点検については、平成27年6月6日から平成27年7月11日までの間で実施した。

原子炉圧力容器外面からの点検により、以下の部位において、DAC20%を超える反射波が検出されているが、JEAC4207-2008「表-2712-1 UT 指示エコーの分類」に照らして、以下のように分類され、割れその他の有害な欠陥と判定されるものは無かった。なお、製造時の溶接においてできた融合不良と評価しているものが一部あるが、溶接規格(JSME S NB1-2007)の判定基準を満足し、維持規格に基づく評価を行い割れ等の有害な欠陥でないことを確認した。加えて、建設時に実施した放射線透過試験、UT及び過去の供用期間中検査のデータとの比較・検証を行い、異常のないことを確認した(添付資料10)。

- ・原子炉圧力容器母材部(クラッド含む):非金属介在物(スラグ巻込み)、製造時の溶接時にできた融合不良
- ・原子炉圧力容器溶接継手(胴の周継手):非金属介在物(スラグ巻込み)、製造時の溶接時にできた融合不良、境界面エコー
- ・原子炉圧力容器溶接継手(胴の長手継手):非金属介在物(スラグ巻込み)、境界面エコー
- ・原子炉圧力容器と低圧注水管台の溶接部:製造時の溶接時にできた融合不良

ジェットポンプライザーブレースアーム溶接部の点検により、DAC20%を超える反射波が検出されているが、JEAC4207-2008「表-2712-1 UT 指示エコーの分類」に照らして、以下のように分類され、割れその他の有害な欠陥と判定されるものは無かった。

- ・ジェットポンプ1:水エコー、非金属介在物(スラグ巻込み)
- ・ジェットポンプ2:水エコー
- ・ジェットポンプ3:水エコー、表面エコー、非金属介在物(スラグ巻込み)
- ・ジェットポンプ4:水エコー、非金属介在物(スラグ巻込み)
- ・ジェットポンプ5:水エコー、非金属介在物(スラグ巻込み)
- ・ジェットポンプ6:水エコー、非金属介在物(スラグ巻込み)
- ・ジェットポンプ7:水エコー、内表面エコー、非金属介在物(スラグ巻込み)
- ・ジェットポンプ8:水エコー、内表面エコー
- ・ジェットポンプ9:水エコー
- ・ジェットポンプ10:水エコー、内表面エコー、非金属介在物(スラグ巻込み)

参考(JEAC4207-2008「表-2712-1 UT 指示エコーの分類」より)

境界面エコー:溶接金属と母材部の境界面からのエコー

表面エコー:探傷面と反対面にあるテーパ部等で反射され外表面が反射源となるエコー

内表面エコー:内面の小さな形状変化によって得られるエコー

水エコー:表面の凹凸により接触媒質の層ができ、超音波が多重反射したもの

4. 4 基礎ボルト

平成 26 年 2 月 5 日から平成 26 年 2 月 25 日までの間で点検を実施した。

基準感度による表示器目盛において 5%を超える反射波が検出されているが、いずれも評価の結果、段付部近傍及びねじ部よりの形状エコーであり、割れその他の有害な欠陥と判定されるものがないことを確認できた。

なお、点検実施前に実機ボルトと同様に製作した模擬試験体のねじ部に付与したスリットの検出性を確認しており、ねじ部や段付き部からの反射エコーは探触子をボルト端面で円周方向に走査しながら探傷すると、連続的な形状指示として現れるので、欠陥のような不連続な指示と識別することが可能であった。

全数 120 本中 2 本については曲がりボルト構造のため、曲がり部より上部に対して UT を実施し、割れその他の有害な欠陥は認められなかったが、曲がり部より下部に対しては探傷ができていない。この基礎ボルトは、曲げ加工が施されており、曲げ加工による影響がないことを同材質の素材を用いた曲げ部から採取した試験片にて機械試験（引張り試験，硬さ試験，衝撃試験）を実施して確認している。また、実機の検査として、寸法検査，非破壊検査（ねじ部の浸透探傷試験，全面の磁粉探傷試験，曲げ部の超音波探傷試験）が行われている。これら試験の後，据え付けがなされていることから，同環境下にある他の基礎ボルトと同様に現在においても異常は生じていないものと考えている。

5. 特別点検結果に対する考察

原子炉圧力容器については、これまで、供用期間中検査を添付資料 11 に示すとおり定期的に実施するとともに、インコネル 182 等で発生が予想される SCC についても添付資料 12 に示すとおり適正な保全を計画・実施してきた。今回これらの現状保全に加え、特別点検の実施により得られた知見は以下のとおりである。

5. 1 母材及び溶接部

従来、炉心領域の溶接部について定点に対する UT を実施しているが、母材及び溶接部（クラッド含む）の全ての領域については UT を実施していない。

今回、点検可能な炉心領域の全てに対して UT を実施した結果、母材及び溶接部（クラッド含む）において、割れその他の有害な欠陥が無いことが確認できた。また、母材及び溶接部はクラッドにより適切に保護されていることが確認できた。

5. 2 給水ノズルコーナー部

従来、ノズルコーナー部の体積試験として UT を実施しているが表面試験は実施していない。今回、ECT を実施した結果、有意な欠陥は確認されなかったことから、疲労による割れを生じていないことが表面試験においても確認できた。

5. 3 CRD スタブチューブ、CRDハウジング、ICMハウジング、差圧検出・ほう酸水注入ノズル

従来、漏えいの有無及び定点に対する目視試験(VT-3)を実施しているが全数を対象とした詳細な点検は実施していない。今回、各対象部位の溶接部（熱影響部含む。）の目視試験(MVT-1)、CRDハウジング、ICMハウジング内面の溶接熱影響部の ECT を実施した結果、有意な欠陥は確認されなかったことから、各対象部位において応力腐食割れを生じていないことが確認できた。

5. 4 ドレンノズル

従来、漏えいの有無及びRPV内面ノズル近傍の目視試験(VT-3)を実施しているが、今回、ノズル第一溶接線までの範囲において目視試験(VT-1)を実施した結果、腐食を含む有意な欠陥は確認されなかった。

5. 5 基礎ボルト

従来、目視試験(VT-3)を実施しているがボルト内部の欠陥の有無について点検は実施していない。今回、全数を対象に UT を実施した結果、割れその他の有害な欠陥は確認されなかったことから、腐食に起因する内部の欠陥が無いことが確認できた。ただし、試験対象のうち2本については干渉物回避のため曲がり構造となっており、曲がり部より下部の探傷はできなかった。

この基礎ボルトは、曲げ加工が施されており、曲げ加工による影響がないことを機械試験等により確認し、据え付けがなされている。したがって、同環境下にある他の基礎ボルトと同様に現在においても異常は生じていないものと考えている。

6. まとめ

原子炉圧力容器の特別点検においては、以下の範囲に対して点検を行った結果、いずれの点検においても割れその他の有害な欠陥は認められなかった。

- ・母材及び溶接部（点検可能な炉心領域の全て）
- ・給水ノズルコーナー部（全6箇所）
- ・CRDスタブチューブ（全数185体）、CRDハウジング（全数185体）、中性子束計測ハウジング（全数55体）及び差圧検出・ほう酸水注入ノズル（1箇所）
- ・ドレンノズル（1箇所）
- ・基礎ボルト（全数120本）

[添付資料]

1. 原子炉圧力容器炉心領域の追加点検（超音波探傷試験）について
2. 燃料集合体の製作公差及び据付誤差について
3. 特別点検（原子炉圧力容器 母材及び溶接部）検査対象図
4. 原子炉圧力容器点検部位毎の検査方法一覧
5. 給水ノズルコーナー部 ECT における信号波形の確認プロセス
6. 原子炉圧力容器給水ノズルコーナー部渦電流探傷試験検討実施状況まとめ
7. 給水ノズルコーナー部への渦電流探傷試験適用に対する確認項目と結果について
8. 特別点検（原子炉圧力容器 基礎ボルト）の点検方法における JANTI-SANE-G2-第1版「地震後の機器健全性評価ガイドライン」の適用箇所について
9. 原子炉圧力容器特別点検データ採取日詳細一覧
10. 炉心領域の溶接部の超音波探傷試験で確認された要記録エコーについて
（原子炉圧力容器点検工事 2014年度、2015年度実施分）
11. 原子炉圧力容器に対する供用期間中検査と特別点検の比較
12. 原子炉圧力容器に対する予防保全活動

[参考文献]

- 1) EJAM E-Journal of Advanced Maintenance HP（日本保全学会海外向け公開文書）
文書名:Development of the Eddy Current Testing (ECT) technique for the Feedwater nozzles of Nuclear Power Plant Reactor Pressure Vessels.
(<http://www.jsm.or.jp/ejam/Vol.8No.4/NT/NT82/82.html>)

原子炉圧力容器給水ノズルコーナー部渦電流探傷試験検討実施状況まとめ

1. 概要

実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイドによれば、給水ノズルコーナー部の点検方法として磁粉探傷試験もしくは浸透探傷試験または渦電流探傷試験（以下、「ECT」という。）が定められている。東海第二発電所においては、当該部の設置位置や水中環境下であることを考慮しECTを選択した。一方、ECTは、JEAG4217-2010においてオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル基合金の母材部及び溶接部（非磁性体）を対象としており、当該部の材質である低合金鋼（磁性体）の欠陥検出性が未確認であった。そのため、2013年度、2014年度に当該部の形状を模擬した試験体を製作し、欠陥検出性を確認した上で実機適用にあたっての検査手順を策定した。

2. 実施状況

給水ノズルコーナー部渦電流探傷試験関連の作業実施状況を表1に示す。

表1 給水ノズルコーナー部渦電流探傷試験関連の作業実施状況

実施年度	内容
2013年度	<ul style="list-style-type: none"> ・平板及び2次元R形状の試験体に付与した人工欠陥の欠陥検出性確認（基礎試験） ・ECT装置の概念設計 ・ECTプローブ動作方法の検討
2014年度	<ul style="list-style-type: none"> ・実機給水ノズル形状（3次元R形状）試験体に付与した人工欠陥の欠陥検出性確認 ・ECT装置の構想及びプローブの検討 ・実機給水ノズルコーナー部ECT要領策定
2015年度 (参考)	<ul style="list-style-type: none"> ・給水ノズルコーナー部ECT（実機工事）

3. 2013年度 実施内容及び結果

2013年度は低合金鋼（磁性体）へのECT適用について確認するため、図1の試験体に付与した人工欠陥（深さ0.5mm, 1.0mm, 2.0mm）が全て検出可能であることを確認した。

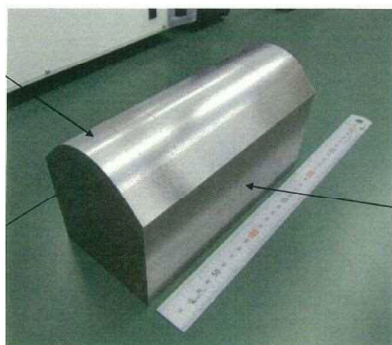


図1 2013年度 給水ノズルコーナー部ECT試験体

低合金鋼（磁性体）へのECT適用について見通しを得たため、装置の概念設計等を行い、実機給水ノズル形状（3次元R形状）試験体にて検討を継続した。

4. 2014 年度 実施内容及び結果

2014 年度は前年度の技術検討結果を踏まえ、実機適用を意識した内容となっている。専用プローブについて検討を行った上で、前年度実施した EDM ノッチに加え、機械疲労き裂を付与し試験を行った。また、酸化被膜や磁気ノイズ等の影響も含めて検討を行った。また、実機給水ノズル形状（3 次元形状）の試験体（図 2）においても付与した欠陥の検出が可能であることを確認した。本件実施にあたり、試験計画の内容確認、試験データの確認、試験結果の評価、実機適用にあたっての試験手順・判定基準について電力中央研究所殿に評価を頂き妥当であることが確認された。

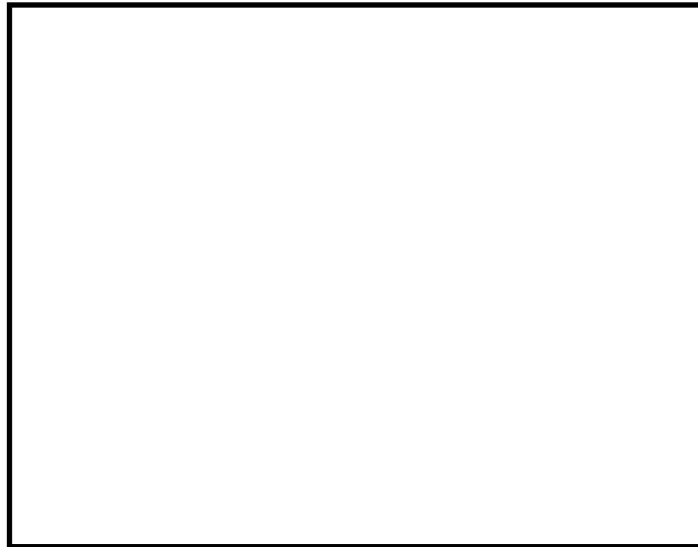


図 2 2014 年度 給水ノズルコーナー部 ECT 試験体（実機形状模擬）

5. 2015 年度 実機工事結果

給水ノズルコーナー部（全 6 箇所）において、有意^{*}な欠陥は認められなかった。

※有意な欠陥とは JEAG4217-2010 「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」で定められている解説

表-3100-2-1 「信号の分類」において「E 欠陥信号」と分類されるものを指す。

6. まとめ

給水ノズルコーナー部の ECT はこれまで点検実績が無く、本資料でまとめた技術検討を実施した上で点検に着手した。また、2015 年度には電力共同研究「原子炉圧力容器の給水ノズルコーナーに対する検査および評価技術開発」において低合金鋼（磁性体）への ECT 適用が可能であることが報告されており、日本保全学会でもその研究成果が紹介されている。現在、低合金鋼（磁性体）への ECT 適用については JEAG4217-2010 への反映が改訂検討作業の中で進められている。

以上

炉心領域の溶接部の超音波探傷試験で確認された要記録エコーについて
(原子炉圧力容器点検工事 2014 年度, 2015 年度実施分)

1. 経緯

炉心領域の溶接部について超音波探傷試験（以下、「UT」という。）を実施した結果、周方向溶接線等に要記録エコーが検出され、評価の結果、不連続部エコー（スラグ巻込み、融合不良と評価）が確認されていることから、この評価結果について、規格基準上の位置づけと従来の点検結果からの考察を以下に述べる。

2. 今回の点検で検出された要記録エコー概要

【2014 年度】

- ・縦方向溶接部 L20：スラグ巻込み
- ・周方向溶接部 C6：スラグ巻込み、融合不良
- ・低圧注水管台溶接部 N6B：融合不良

【2015 年度】

- ・母材部（内面クラッド含む）：スラグ巻込み、融合不良

(別紙 1, 2 参照)

3. 規格基準上の位置づけ

(1) 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則及びその解釈より

技術基準	解釈	適用規格
(材料及び構造) 第十七条 十五 ロ 溶接によるわれが生ずる恐れがなく、かつ、健全な溶接部の確保に有害な溶け込み不良その他の欠陥がないことを非破壊試験により確認したものであること。	第 15 号ロに規定する「溶接による割れが生ずるおそれなく」とは、溶接後の非破壊試験において割れないことに加え、溶接時の有害な欠陥により割れが生じるおそれがないことをいい、「健全な溶接部の確保に有害な溶け込み不良その他の欠陥がないこと」とは、溶接部の設計及び形状が溶込み不足を生じがたいものであり、溶接部の表面及び内部に有害な欠陥がないことをいう。	日本機械学会「発電用原子力設備規格 溶接規格 (2007 年版, 2012 年版 (2013 年追補を含む。)) (JSME S NB1-2007, 2012/2013)」 (以下、「溶接規格」という。)
(使用中の亀裂等による破壊の防止) 第十八条 使用中のクラス 1 機器 (以降省略) には、その破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥があってはならない。	第 1 項に規定する「その破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥があってはならない。」とは、「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」の規定に適合するものであること。	日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格 (2008 年版) (JSME S NA1-2008)」 (以下、「維持規格」という。)

技術基準により、溶接規格、維持規格を適用することとなっている。

(2) 溶接規格より

本文	解説
N-1040 溶接部の強度等 クラス 1 容器の溶接部は、溶込みが十分で、かつ、割れまたはアンダーカット、オーバーラップ、クレータ、スラグ巻込み、ブローホール等で有害なものがあるてはならない。	溶接部内外部の健全性に関する一般的事項について規定している。溶接部内外部の健全性の確認の方法は、目視によるものおよび非破壊試験によるものがあり、それぞれの機器区分のそれぞれの継手の溶接部に対して N-××50 において、非破壊試験の実施を規定している。

それぞれの非破壊試験について規定されており、原子炉圧力容器（以下、「RPV」という。）の溶接部については、放射線透過試験（以下、「RT」という。）の実施が求められており、製造時に RT を実施している。

この結果、異常のないことが確認されている。

(3) 維持規格より

IA-2542 超音波探傷試験

パルス反射法を使用する超音波探傷試験は、JEAG 4207-2004「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」に従って行わなければならない。（現：JEAC 4207-2008「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規程」（以下、「JEAC 4207」という。）

(4) JEAC 4207 より

本文	解説
2721 クラス 1 機器 維持規格の EB-1300 項に基づき欠陥評価を行う場合であって、欠陥指示が溶接規格に適合しない場合には、欠陥深さ寸法測定を行う。	（解説-2721-1）欠陥指示が溶接部にある場合 溶接規格に適合する欠陥指示とは、その位置などから溶接施工時に溶接部の内部に生じたものと判断され、溶接部の判定基準である溶接規格に適合するものを言い、この場合、欠陥深さ寸法測定は実施しない。適合しない欠陥指示とは、欠陥が表面にある場合などで、割れか否かの判断が付かない場合にも欠陥深さ寸法測定の対象とした。

維持規格に従い、供用期間中検査（以下、「ISI」という。）を実施し、割れその他の有害なエコーは検出されておらず、異常は確認されていない。

4. 従来の点検結果及び考察

R P V製造時から現在までの点検結果を以下に述べる。

- ・ R P V製造時に実施した RT では、融合不良等の判定基準を満足しない欠陥は確認されていない。
- ・ 発電所において実施した供用前検査（以下、「PSI」という。）では要記録エコーが検出されていないが、工場において、記録レベルを低く設定し製造時に自主的に実施した UT（以下、「製造時 UT」という。）では、今回検出された要記録エコーと同様な位置にエコーが検出されている箇所もある。
- ・ ISI では縦方向溶接部、周方向溶接部、低圧注水管台溶接部において、今回の点検と同様に要記録エコーが検出されている。評価の結果、割れその他の有害な欠陥ではないことを確認している。

今回の点検で検出された要記録エコーについて製造時の RT や PSI 等と合わせて点検結果の比較を行った。周方向溶接継手 RPV-A-C6 の試験結果を例とし比較した結果を以下に述べる。

- ・ 製造時の RT では、当該部に欠陥は検出されていなかった。なお、RT で検出されているブローホールやスラグ巻込みの一部については今回の点検では検出されないが、これはブローホールやスラグ巻込みは一般的に形状が丸く、さらにこれが極小である場合、その反射波は方々に散乱し、UT で評価することが難しくなることが原因と考えられる。
- ・ PSI で実施した当該部の点検記録によると DAC20%を超えるエコーは検出されていない。また、製造時 UT においても検出されていない指示もある。これは探傷周波数の違い (PSI, 製造時 UT : 2.25 MHz, 今回 : 1 MHz) によるところが大きいと考えられ、今回の試験対象部では 1 MHz の方が、傾きのある反射源の検出性、クラッド境界面近傍でのノイズ分離性に適していたことや、指向角の広がりによって検出範囲が広がることによる違いが考えられるとのメーカー見解を得ている（別紙 3 参照）。
- ・ ISI において、今回の点検範囲と重複している範囲について過去の点検記録（第 7 回、13 回、16 回、21 回、23 回、25 回定検）との比較を行った。この結果、ISI で検出された要記録エコーと今回の点検で検出された要記録エコーは、その数、DAC20%を超える長さ等、完全に一致するものではなかった。これは試験条件が完全に一致するものではないことで生じているばらつきと考えられ、エコーが記録レベルに達しなかった場合もあったものと考えられる。

以上のとおり、従来の点検では建設時および供用中における有意な欠陥の発生、欠陥の進展性は確認されていない。

5. 今回の試験結果及び考察

今回の点検で確認された要記録エコーを別紙 1 にまとめる。判定基準では溶接部の厚さの区分が 57 mm を超えるものについては UT による指示長さ (DAC100% を超える部分の長さ) の許容値が 19 mm と定められており、これを満足している。

また、今回の点検において検出された要記録エコーは、不連続部エコーであり製造時に発生したものと推察されることから試験員による評価では、広がりのある波形、他の探傷方向からも検出されるもの等をスラグ巻込みとし、狭い波形、他の探傷方向では低い指示や指示が確認されないもの等を融合不良と整理し報告されている。

今回の点検では自主的に、検出された要記録エコーについて欠陥高さの有無を確認し、必要に応じて維持規格で記載されている評価不要欠陥寸法内にあることを確認している。また、

いずれのエコーも内在していることが確認され表面に開口しているものではなく、原子炉冷却材に曝されることがないため応力腐食割れ等の欠陥を助長させる環境要素から排除される。

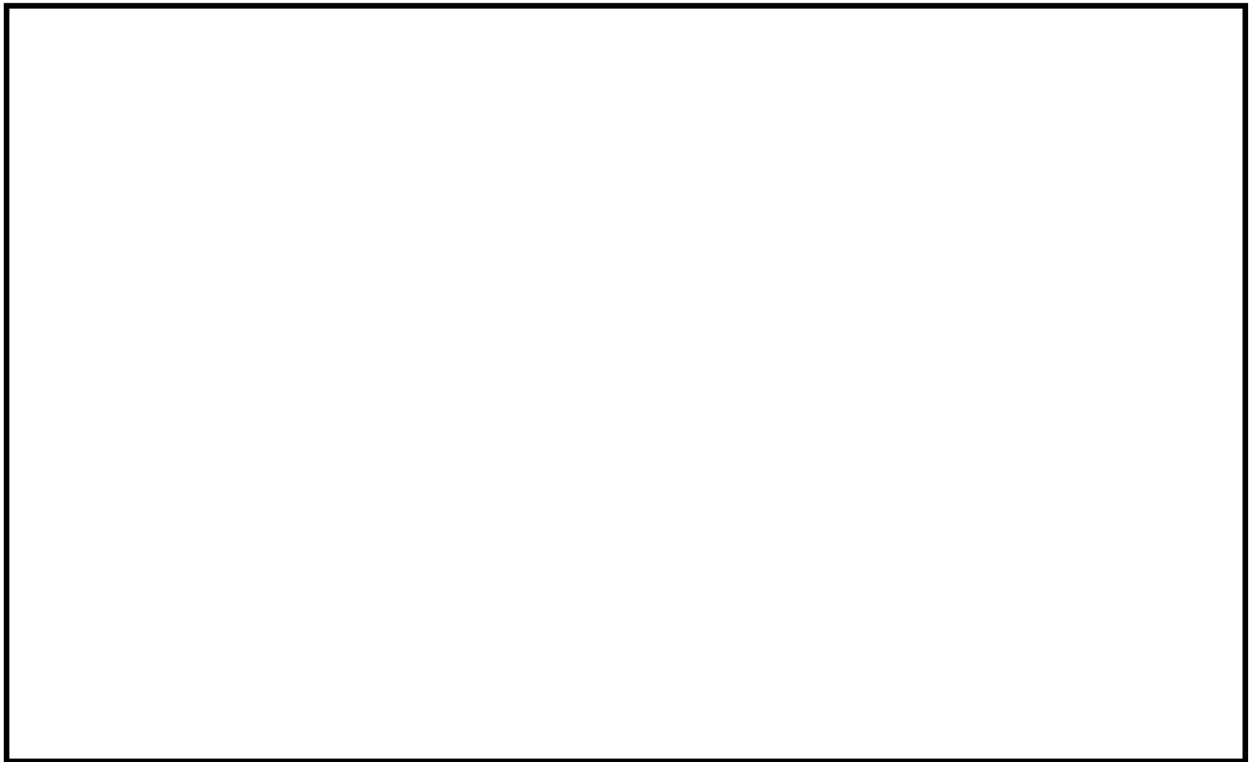
要記録エコーについては、これらの評価を実施し、進展性がなく割れ等の有害な欠陥ではないことを確認した。また、その評価の過程で過去の点検実績（PSI, ISI）の確認・比較を実施している。

今回の点検で確認された要記録エコーの例及び検査箇所毎の評価内容を以下に示す。

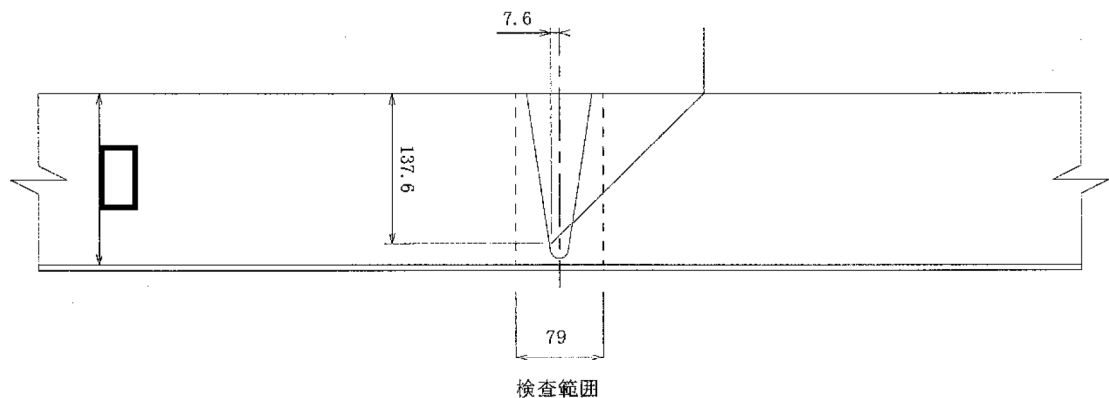
今回の点検で確認された要記録エコーの例

周方向溶接線 RPV-A-C6（縦溶接線 L19 ～ L20 間）

探傷：斜角 45°，溶接線に対し直交方向



溶接線直交方向断面のエコー位置



(1) 縦方向溶接部 (L20 #1)

割れに伴う端部エコーは確認されておらず、反射源は溶接線に内在しており、ISI での検出結果と比較しても指示エコー高さに大きな違いはない。

(2) 周方向溶接部

① 製造時 UT において検出されている指示エコー (C6 #1, 2)

割れに伴う端部エコーは確認されておらず、反射源は溶接線に内在しており、製造時 UT と比較しても指示エコー高さに大きな違いはない。なお、ISI では点検実績のない部位である。

② ISI において検出されている指示エコー (C6 #3~7)

割れに伴う端部エコーは確認されておらず、反射源は溶接線に内在しており、ISI での検出結果と比較しても指示エコー高さに大きな違いはない。

③ 従来の UT において検出されていない指示エコー (C6 #8)

割れに伴う端部エコーは確認されておらず、反射源から高さは検出されず開先面近傍に内在している。製造時の RT, UT, PSI では検出されておらず、ISI では点検実績のない部位である。

この指示エコーは初めて検出したものであるが、指示エコー深さから内表面近傍にはないため供用中の発生は考えられず、製造時より存在しているものと評価する。また、新たな検出に至った理由は探傷周波数の違い (PSI, 製造時 UT : 2.25 MHz, 今回 : 1 MHz) によるもの、試験データの表示方法の改善 (画像処理) 等試験装置の性能向上によるものと考えられる。

(3) 低圧注水管台溶接部 (N6B #1)

割れに伴う端部エコーは確認されておらず、反射源は開先面近傍に内在しており、ISI での検出結果と比較しても指示エコー高さに大きな違いはない。

(4) 母材部 (内面クラッド含む)

① 製造時 UT において検出されている指示エコー (H3 #13, 17, 18, 22)

割れに伴う端部エコーは確認されておらず、反射源は指示エコー位置及び深さより、周方向溶接線または開先面近傍に内在している。製造時 UT と比較すると指示エコー高さに違いがあるものも確認されるが、探傷角度による検出性の違いと考えられ同じ反射源を捉えているものと評価する。なお、ISI では点検実績のない部位である。

② ISI において検出されている指示エコー (H3 #25)

割れに伴う端部エコーは確認されておらず、反射源は周方向溶接線の開先面近傍に内在しており、ISI での検出結果と比較しても指示エコー高さに大きな違いはない。

③ 従来の UT において検出されていない指示エコー (H3 #1~12, 14~16, 19, 20, 21, 23, 24, 26)

割れに伴う端部エコーは確認されておらず、反射源は、クラッド内表面から得られる指示エコーよりも前の位置に検出されていることから内在していることが確認できる。また、周方向溶接線の開先面近傍または溶接線に内在しているものもある。これらの指示エコーは、製造時 UT, PSI では検出されておらず、ISI では点検実績のない部位である。

これらの指示エコーは初めて検出したものであるが、指示エコーの位置はクラッド内表面近傍ではなく製造時より内在しているものと考えられる。また、新たな検出に至った理由は探傷方法の違い（クラッド部：垂直法（製造時 UT）、溶接部：斜角法（PSI、製造時 UT）、今回：フェーズドアレイ法）によるもの、試験データの表示方法の改善（画像処理）等試験装置の性能向上によるものと考えられる。

6. まとめ

今回の試験結果から融合不良として報告しているが5項に記載のとおり、要記録エコーについて確認の結果、得られた波形から類推し整理したものであり、スラグ巻き込みと同様に不連続部エコーとして分類した。

また、検出された要記録エコーは製造時から存在するものと考えられるが、製造時の RT では検出されない程小さく、UT の判定基準を満足しており、高さのあるものも評価不要欠陥寸法内にあることを確認している。

検出されたいずれのエコーも割れに伴うものではなく、内表面近傍にもないことから、進展性はなく有害な欠陥ではないものと評価した。なお、ISI 対象溶接線で今回新たに検出された要記録エコーについては、念のため ISI の中で継続的に確認していく。

7. 別紙

- 別紙1 原子炉圧力容器点検工事 要記録エコー一覧
- 別紙2 原子炉圧力容器点検工事 要記録エコー位置図
- 別紙3 周波数の違いによる検出性の特徴について

以上

原子炉圧力容器点検工事 要記録シート

No.	実施年度	検査箇所	インディケーションNo. ^{※1}	屈折角 ^{※2}	特別点検結果				点検要素との比較										備考								
					指示エコー高さ DAC(%)	指示エコー位置 (mm)	指示エコー深さ(mm)	DAC20%長さ(mm) ^{※3}	DAC100%長さ(mm) ^{※3}	欠陥高さ (mm)	評価結果	製造時 RT ^{※4}	製造時 UT ^{※5}	PSI ^{※6}	第7回 (1986) ISI	第10回 (1994) ISI	第16回 (1998) ISI	第21回 (2005) ISI		第23回 (2008) ISI	第25回 (2011) ISI						
1		縦方向溶接部	L20 #1							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・複数の指示 ・他の探傷方向でも検出	
2			O6 #1							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出	
3			O6 #2							-	6.2(評価不要欠陥寸法以下)	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・複数の指示 ・他の探傷方向でも検出	
4			O6 #5							-	検出されず	融会不良	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	融会不良評価理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では非常に低い指示や指示が確認されない	
5	2014	扇方向溶接部	O6 #6							-	検出されず	融会不良	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	融会不良評価理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では非常に低い指示	
6			O6 #7							-	検出されず	融会不良	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	融会不良評価理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では非常に低い指示 ・開先におった位置に確認	
7			O6 #3							-	6.3(評価不要欠陥寸法以下)	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・複数の指示 ・他の探傷方向でも検出	
8			O6 #4							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出	
9			O6 #8							-	検出されず	融会不良	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	融会不良評価理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では非常に低い指示や指示が確認されない	
10		低圧注水管台溶接部	N6B #1							-	検出されず	融会不良	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	融会不良評価理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では非常に低い指示を確認	
11			H1 #1							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
12			H1 #2							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
13			H1 #3							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
14			H1 #10							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
15			H2 #4							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
16			H2 #5							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
17			H2 #6							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
18			H2 #7							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
19	2015	母材部 (内側アフレド含む)	H2 #8							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
20			H2 #9							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
21			H2 #11							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
22			H3 #12							-	検出されず	スラグ巻込み (O6溶接部)	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O6溶接部周辺 スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
23			H3 #13							-	5.4(評価不要欠陥寸法以下)	融会不良	検出されず (O6溶接部)	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O6溶接部周辺 融会不良評価理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では低い指示を確認 O6溶接内部に指示を確認
24			H3 #14							-	検出されず	スラグ巻込み (O6溶接部)	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O6溶接部周辺 スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
25			H3 #15							-	検出されず	スラグ巻込み (O6溶接部)	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O6溶接部周辺 スラグ巻込み評価理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 クラッド内部に指示を確認	
26			H3 #16							-	検出されず	融会不良	検出されず (O6溶接部)	検出されず	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O6溶接部周辺 融会不良評価理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では低い指示や指示が確認されない O6溶接内部に指示を確認	

No.	実施年度	検査箇所	インディケーションNo. ^{※1}	特別点検結果						点検業者との比較											備考							
				屈折角 ^{※2}	指示エコー高さDAC(%)	指示エコー位置(mm)	指示エコー深さ(mm)	DAC20%長さ(mm)	DAC100%長さ(mm) ^{※3}	欠陥高さ(mm)	評価結果	製造時RT ^{※4}	製造時UT ^{※5}	P3I ^{※6}	第7回(1998)ISI	第13回(1994)ISI	第16回(1996)ISI	第21回(2005)ISI	第23回(2006)ISI	第25回(2011)ISI								
27	2015	母材部 (内面クラッド含む)	H3 #17						-	5.5/5.4(評面不要欠陥寸法以下)	融会不良	検出されず(C6溶接線)													C6溶接線周辺 融会不良評理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では指示が確認されない C6溶接内部に指示を確認			
28			H3 #18							-	~5.7(評面不要欠陥寸法以下)	融会不良	検出されず(C6溶接線)													C6溶接線周辺 C6溶接位置 融会不良評理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では低い指示や指示が確認されない C6溶接内部に指示を確認		
29			H3 #19							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず(C6溶接線)	検出されず													C6溶接線周辺 スラグ巻込み評理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 C6溶接内部に指示を確認	
30			H3 #20							-	検出されず	スラグ巻込み	検出されず(C6溶接線)	検出されず													C6溶接線周辺 スラグ巻込み評理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出 C6溶接内部に指示を確認	
31			H3 #22							-	検出されず	融会不良	検出されず(C6溶接線)															C6溶接線周辺 融会不良評理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では低い指示や指示が確認されない C6溶接内部に指示を確認
32			H3 #23							-	5.2(評面不要欠陥寸法以下)	融会不良	検出されず(C6溶接線)	検出されず														C6溶接線周辺 融会不良評理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では低い指示や指示が確認されない C6溶接内部に指示を確認
33			H3 #24							-	検出されず	融会不良	検出されず(C6溶接線)	検出されず														C6溶接線周辺 融会不良評理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では低い指示や指示が確認されない C6溶接内部に指示を確認
34			H3 #25							-	検出されず	融会不良	検出されず(C6溶接線)															C6溶接線周辺 L20#1,C6#7同種位置 融会不良評理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では低い指示や指示が確認されない C6溶接内部に指示を確認
35			H3 #26							-	検出されず	融会不良	検出されず(C6溶接線)	検出されず														C6溶接線周辺 融会不良評理由 ・狭い波形 ・他の探傷方向では低い指示や指示が確認されない C6溶接内部に指示を確認
36			H5 #21							-	検出されず	スラグ巻込み		検出されず														スラグ巻込み評理由 ・広がりのある波形 ・他の探傷方向でも検出

※1 表記は検出箇所+番号
 ※2 屈折角に合わせて入射位置を次のとおり記載している。RS(溶接線右側),BS(底部側),TS(頂部側),LKUP(上方),LKDN(下方),LKCCW(反時計回り),LKCW(時計回り),P(平行方向),T(直交方向)
 ※3 厚さ57mmを超えるものについては指示長さ6mm以下なら合格(溶接規格より)
 ※4 溶接検査の中で実施した放射線透過試験
 ※5 自主的に実施した超音波探傷試験(縦方向溶接部、周方向溶接部、低圧注水管台溶接部、クラッド溶接部)、溶接検査の中で実施した超音波探傷試験(クラッド溶接部)
 ※6 供用前検査
 ※7 供用期間中検査
 ※8 低圧注水管台のエコー位置は、RPV外側から見て、天を0°として右回りの角度で示している。

原子炉圧力容器点検工事 要記録工口一位置図

周波数の違いによる検出性の特徴について

比較項目	周波数 2.25 MHz	周波数 1 MHz	特徴及び備考
波長			鋼中の横波の場合 波長 $\lambda = v/f$ v : 鋼中の音速 [] f : 周波数 (2.25×10^6 Hz, 1×10^6 Hz とした)
検出するきずの傾き			きずが音軸に対して傾いている場合, 1 MHz の方が検出性が高い (下図参照)。 きずの傾き角度と反射率の関係は, 下式 ^{※1} より算出した。 反射率 $D_H(\alpha, -\alpha) = 2J_1(2kR\sin\alpha) / 2kR\sin\alpha$ α : きずへの入射角 k : 位相定数 $k = 2\pi / \lambda$ R : きずの半径 (2.5 mm とした) J_1 : 第1種ベッセル関数
きずの反射率と寸法	r = 2.5 mm	r = 2.5 mm	1 MHz は波長が長いので, 同じきずに対して反射率が低く, 理論的には検出し難い。 例) 円形平面きずの反射率 $0.7\lambda \leq 2r \leq 0.8/\sqrt{\lambda x}$ の場合 : $2\pi r^2 / \lambda x$ ^{※2} しかしながら, クラッド境界面近傍で検出されるクラッド溶接部の粒界ノイズについては, 波長が長い方が影響は受け難い。このため, 1 MHz の方がクラッド近傍の探傷に適している。
指向角			1 MHz は 2.25 MHz に比べ指向角が広く, 空間分解能が低下するが, 検出範囲は広がる。また, 傾きのあるきずの場合この広がりの中で検出する可能性が上がる。 ここで, 指向角は下式で示される音圧が 1/2 に低下する角度をいう。 ^{※3} $\phi_{-6} = \sin^{-1}(1.616\lambda / \pi D)$ D : 探触子直径 ($\phi 25.4$ mm とした)

※1 きずの傾きとエコー高さ 社団法人日本非破壊検査協会 超音波探傷試験Ⅲ 2001 (76 頁)

※2 各種形状のきず反射率 同上 (70 頁)

※3 遠距離音場における指向性 円形振動子 同上 (40 頁)

