

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

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

(添付資料1参照)

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。

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。

(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 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き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き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。これは探傷周波数の違い（PSI：2.25 MHz、今回：1 MHz）によるところが大きいと考えられる。
- ・ 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、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添付資料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。

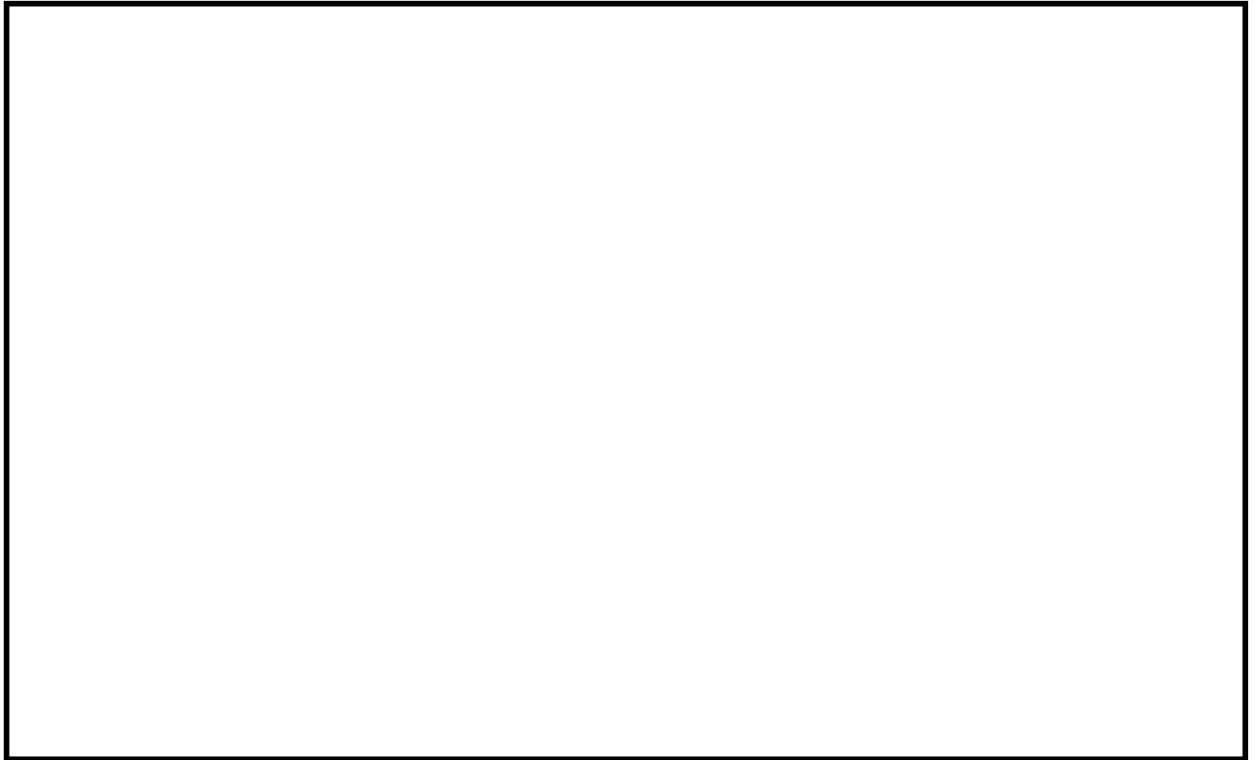
また、今回の点検において検出された要記録エコーは、不連続部エコーであり製造時に発生したものと推察されることから試験員による評価では、広がりのある波形、他の探傷方向からも検出されるもの等をスラグ巻き込みとし、狭い波形、他の探傷方向では低い指示や指示が確認されないもの等を融合不良と整理し報告されている。

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。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。

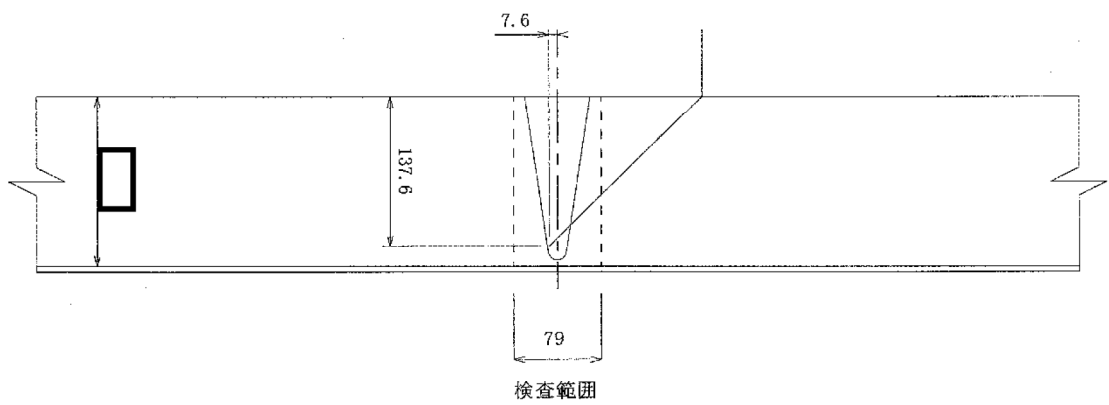
今回の点検で確認された要記録エコーの例を以下に示す。

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



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、UTによって融合不良と断定したものではない。

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、評価不要欠陥寸法内にあることを確認していることから、進展性がなく割れ等の有害な欠陥でないことを確認している。

7. 添付資料

添付資料1 原子炉压力容器点検工事 要記録エコー一覧

添付資料2 原子炉压力容器点検工事 要記録エコー位置図

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	
1	2014	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(評値不要欠陥寸法以下)	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	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	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			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	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	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(評値不要欠陥寸法以下)	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	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	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	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			2015	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	-	-	-	-	-
11	H1#1				-	検出されず	スラグ巻込み	-	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	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	H2 #8				-	検出されず	スラグ巻込み	-	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	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	検出されず(O6溶接)	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O6溶接縁周辺 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(評値不要欠陥寸法以下)	融会不良	検出されず(O6溶接)	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O6溶接縁周辺 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	検出されず(O6溶接)	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O6溶接縁周辺 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	検出されず(O6溶接)	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O6溶接縁周辺 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)	検出されず	検出されず	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O6溶接縁周辺 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)											C6溶接縁周辺 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)												C6溶接縁周辺 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	融会不良	検出されず(C6溶接)	検出されず											C6溶接縁周辺 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	融会不良	検出されず(C6溶接)	検出されず											C6溶接縁周辺 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	融会不良	検出されず(C6溶接)												C6溶接縁周辺 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	融会不良	検出されず(C6溶接)	検出されず											C6溶接縁周辺 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	融会不良	検出されず(C6溶接)	検出されず											C6溶接縁周辺 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	融会不良	検出されず(C6溶接)	検出されず											C6溶接縁周辺 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	融会不良	検出されず(C6溶接)	検出されず											C6溶接縁周辺 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	融会不良	検出されず	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(溶接縁右側),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 要記録工コ一位置図