

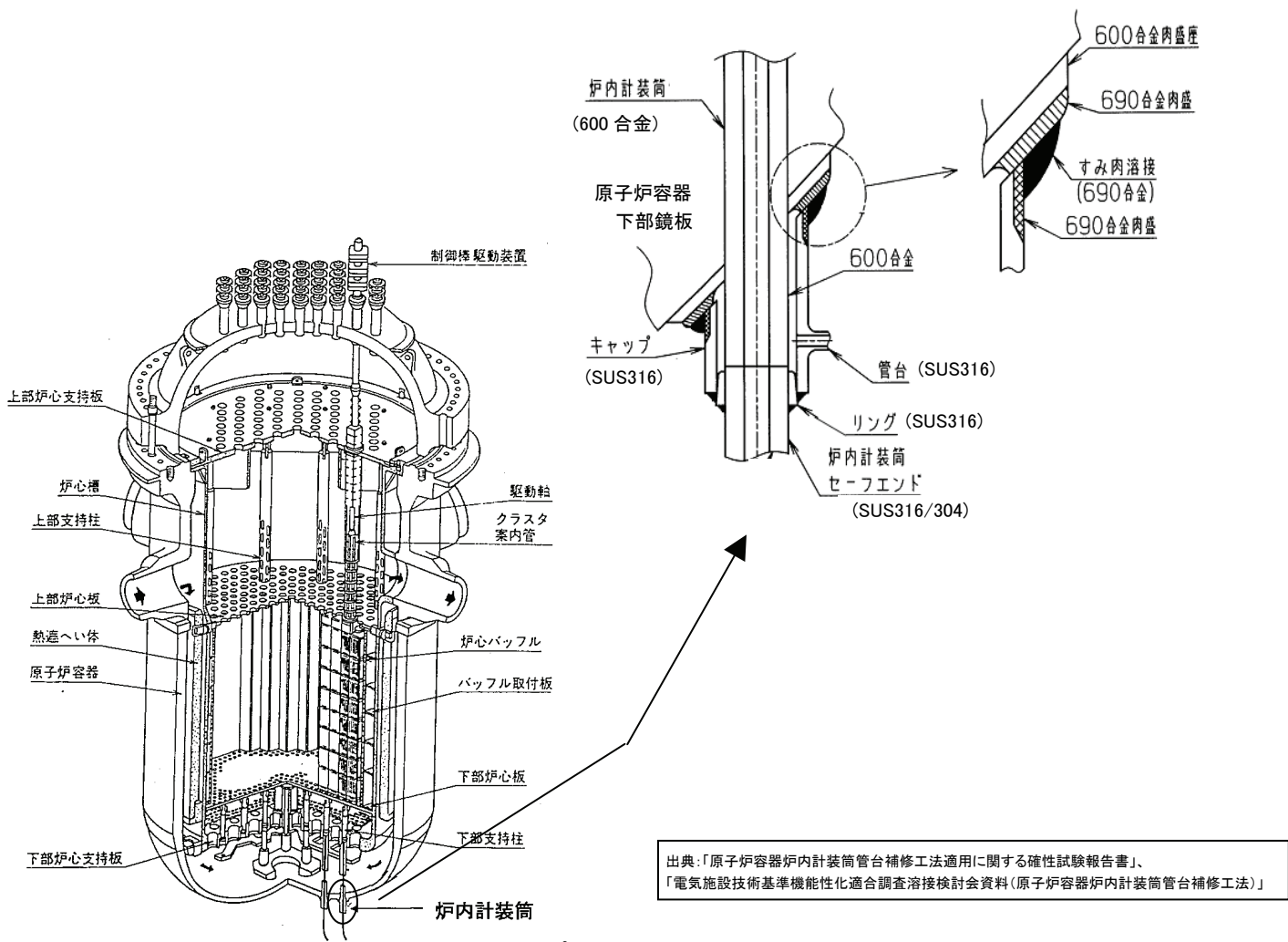
### キャップ工法の概要

キャップ工法の概要図を下図に示す。

本工法は、加圧水型軽水炉の炉内計装筒部位の補修のために開発され、H14年度にRTTWおよび確性試験で技術基準への適合性が確認されたものである。

なお、キャップ工法を適用することにより、耐圧部分(バウンダリ)は炉内計装筒母材及び溶接部からキャップ等へ移行するため、同工法は、き裂等の損傷が、炉内計装筒母材及び溶接部における軸(半径)方向、周方向のいずれの場合であっても適用可能である。キャップ工法の特徴を以下に示す。

- ① 比較的容易にアクセスできる原子炉容器下部鏡板外面に、キャップ等により新たな耐圧部分(バウンダリ)を形成する。
- ② 既存の 600 合金肉盛座に 690 合金を肉盛り、キャップの取付け部に使用中の応力等に対する耐食性を考慮する。原子炉容器の下部鏡板とキャップの溶接、キャップとリングの溶接、及びリングと炉内計装筒のセーフエンドの溶接にはすみ肉溶接を適用する。
- ③ 溶接時の裏面からのガス保護及び耐圧・漏えい試験等のためにキャップに管台を設ける。



キャップ工法 概要図

- 添付1 : キャップ工法の溶接部の設計(すみ肉溶接を適用する部位)
- 添付2 : キャップ工法施工手順図
- 添付3 : キャップ工法の各部材の供用中の健全性について
- 添付4 : 供用中にき裂が破壊を引き起こさないことの確認について

### キャップ工法の溶接部の設計(すみ肉溶接を適用する部位)

キャップ工法の溶接部のうち、すみ肉溶接を適用する部位(図1)の設計は、クラス1容器の溶接部の設計の規定である設計・建設規格 PVB-4200 によらず、以下のとおりとする。

なお、キャップおよびリングの必要板厚である  $t_n$  および  $t_{r2}$  は設計・建設規格 PVB-3000 を満足するように設定する。なお、PVB-3114 の疲労評価に際しては、WSRの成果を用いることで、すみ肉溶接の形状による応力集中の効果(疲労強度減少係数)を規格に記載の値(PVB-3130(2))より安全側に考慮したうえで、設計・建設規格の規定を満足することを確認する。(注:疲労強度減少係数に実験的に求めたものを使用することは PVB-3130(1)による。)

表 1 すみ肉溶接部の設計

部位	すみ肉溶接部の寸法	疲労強度減少係数
すみ肉 A (図 2) (リングと炉内計装筒の溶接継手)	のど厚は、 $t_{r1}$ 以上 ( $t_{r1}$ : 炉内計装筒の必要板厚)	7.9
すみ肉 B (図 2) (キャップとリングの溶接継手)	のど厚は、 $t_{r2}$ 以上 ( $t_{r2}$ : リングの必要板厚)	8.6
すみ肉 C (図 3) ( 690 溶金肉盛とキャップの 溶接継手 )	脚長は、 0.75 $t_n$ 以上(下部鏡板側)、 1.5 $t_n$ 以上(炉内計装筒側) ( $t_n$ : キャップの必要板厚)	10

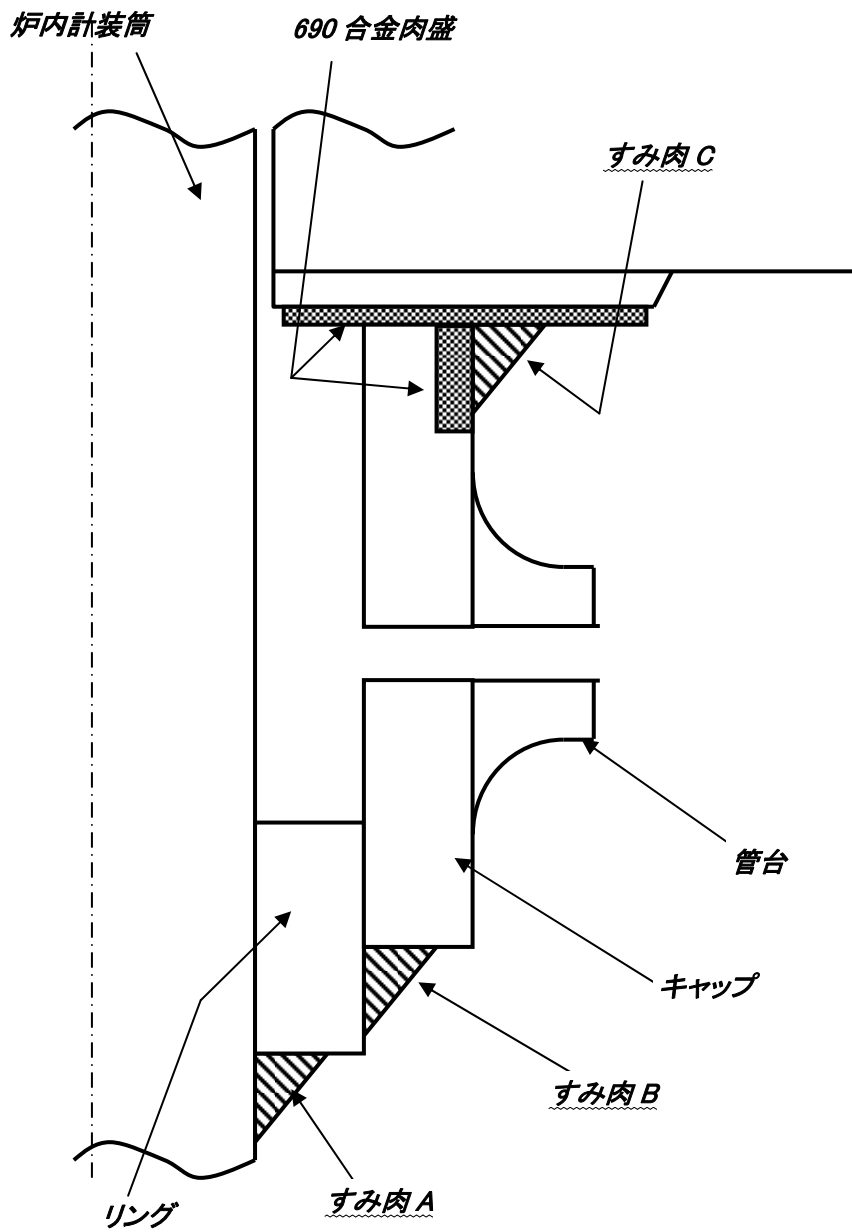
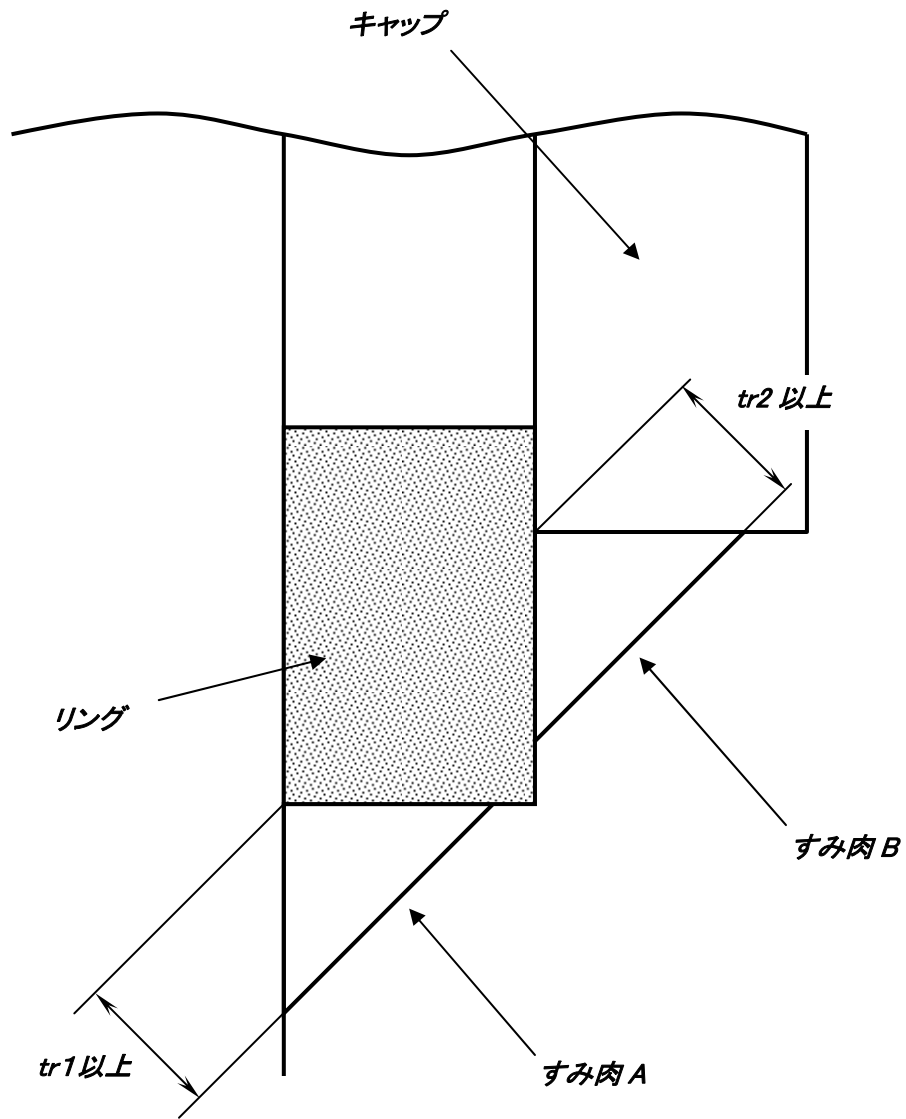
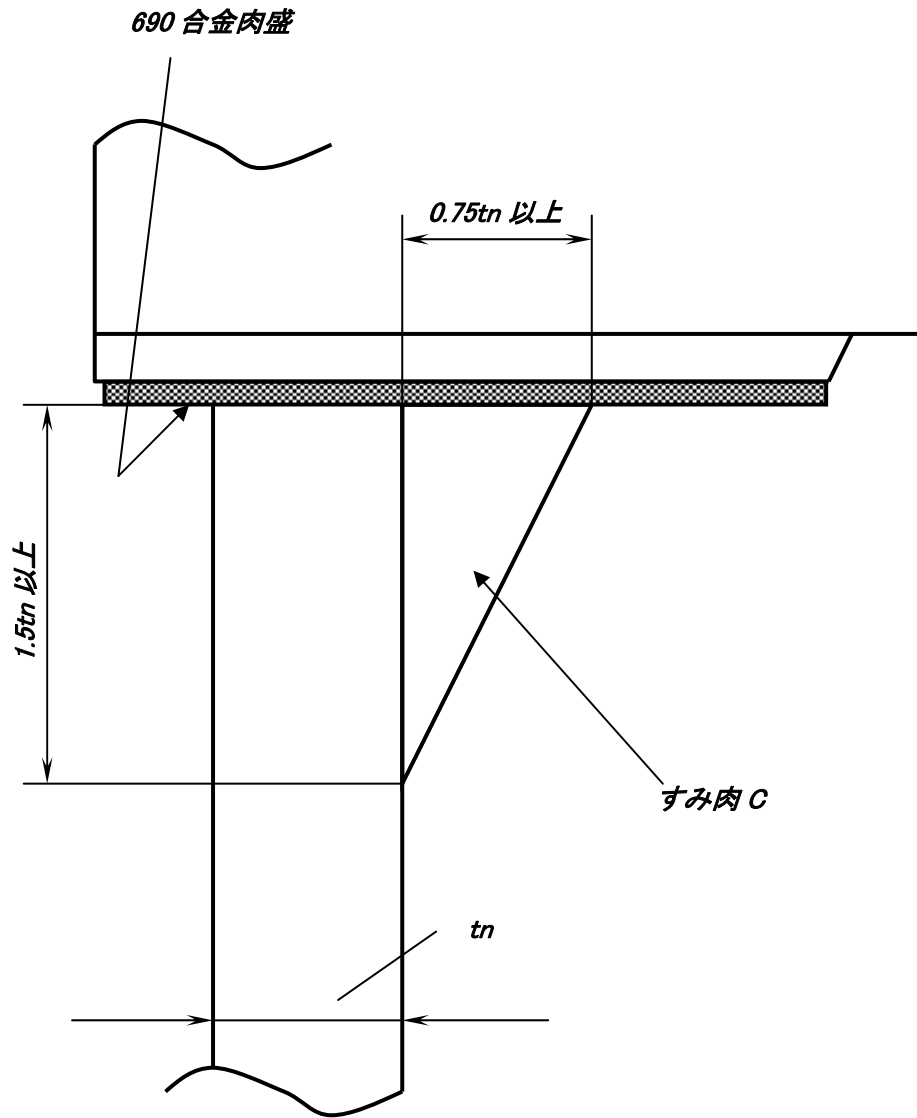


図1 キャップ工法においてすみ肉を適用する部位



\*)  $tr1$ : 炉内計装筒必要板厚  
 $tr2$ : リング必要板厚

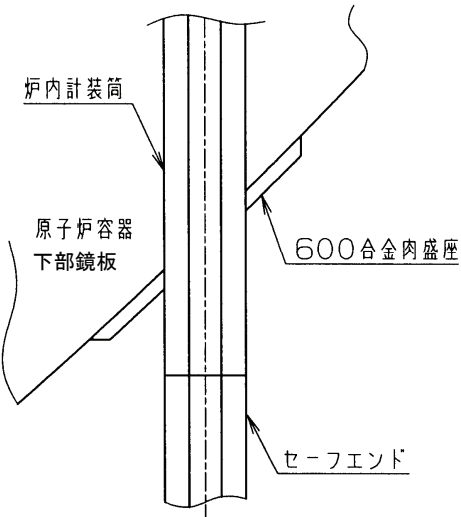
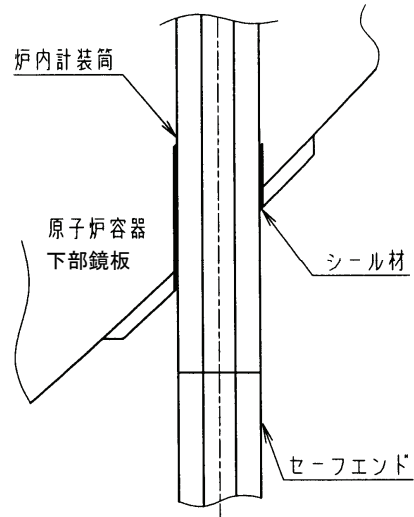
図 2 すみ肉 A 及び B 寸法



\*)  $tn$ : キャップ必要板厚

図3 すみ肉 C 寸法

## キャップ工法 施工手順図(1/8)

項目	作業着手前	ステップ1：止水処理
概念図		
施工内容	<p>原子炉容器下部鏡板外面には予め原子炉容器製作時に 600 合金肉盛座が設けてある。</p>	<p>降圧しても漏れが止まらない場合、原子炉容器下部鏡板と炉内計装筒の隙間にシール材を挿入する。 表面にはみ出たシール材は除去する。</p>
確認項目		

## キャップ工法 施工手順図 (2/8)

項目	ステップ2 : 690 合金肉盛	ステップ3 : 残留応力対策																
概 念 図																		
施 工 内 容	<p>既存の600合金肉盛座に690合金肉盛溶接を行う。(2層以上;今回適用する溶接条件で2層肉盛すれば690合金母材相当のCr量となることをRTTWにて確認済み)</p> <p>690合金-600合金境界部の形状手入れを行う。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">項目</th> <th style="text-align: center;">内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶接方法</td> <td>ティグ溶接(手動)</td> </tr> <tr> <td>溶接姿勢</td> <td>上向き</td> </tr> <tr> <td>溶加材</td> <td>690合金相当</td> </tr> <tr> <td>シールドガス</td> <td>Ar 100%</td> </tr> <tr> <td>裏ガス保護</td> <td>行なわない</td> </tr> <tr> <td>層間温度</td> <td>177℃以下</td> </tr> <tr> <td>溶接条件</td> <td>RTTW等で確認されたもの</td> </tr> </tbody> </table>	項目	内容	溶接方法	ティグ溶接(手動)	溶接姿勢	上向き	溶加材	690合金相当	シールドガス	Ar 100%	裏ガス保護	行なわない	層間温度	177℃以下	溶接条件	RTTW等で確認されたもの	<p>600合金肉盛座への圧縮応力付与のため当該部へのショットピーニング処理(または、バフ施工)を行う。</p>
項目	内容																	
溶接方法	ティグ溶接(手動)																	
溶接姿勢	上向き																	
溶加材	690合金相当																	
シールドガス	Ar 100%																	
裏ガス保護	行なわない																	
層間温度	177℃以下																	
溶接条件	RTTW等で確認されたもの																	
確 認 項 目	<p>(溶接前) 材料検査(既設品)、開先検査(開先面、PT含む)</p> <p>(溶接後) PT、外観検査、次ステップ以降の開先検査のための寸法確認、溶接作業検査(溶接施工記録による入熱量等の確認)</p>																	

### キャップ工法 施工手順図(3/8)

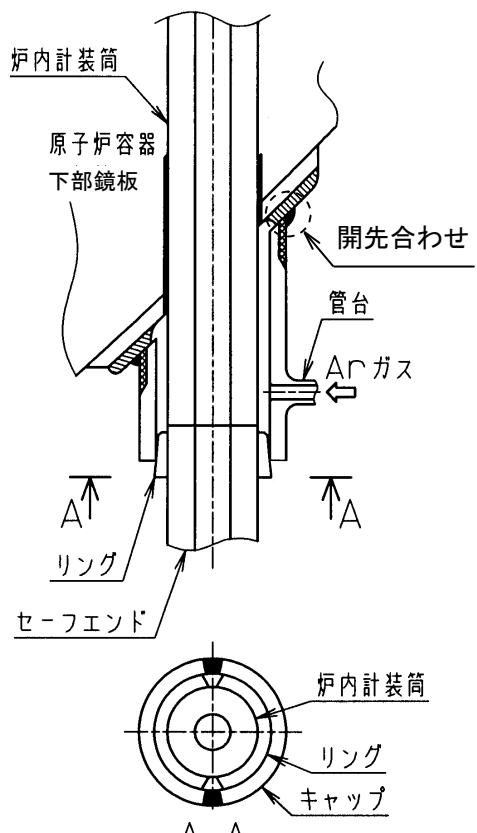
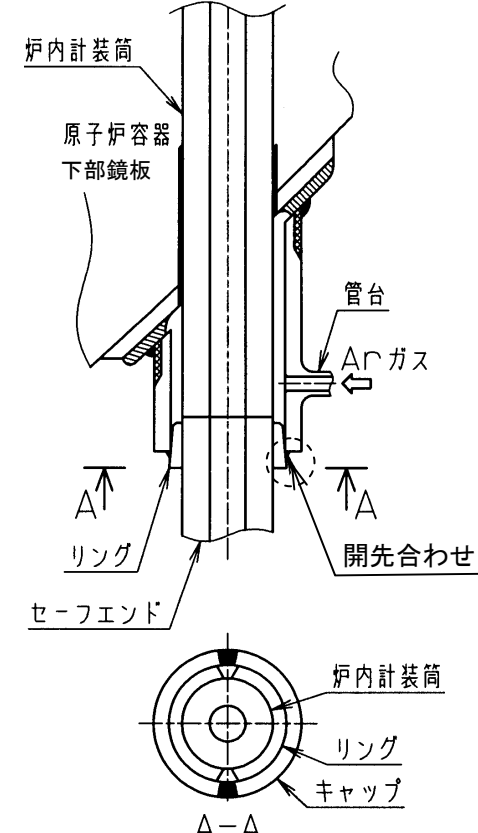
項目	ステップ4：690合金肉盛部形状計測 および洗浄	ステップ5：キャップの工場での製作																
概 念 図																		
施 工 内 容	<p>690合金肉盛面の形状計測、型取りを行い、ステップ5の加工寸法に反映する。また、600合金肉盛座、690合金肉盛及び炉内計装筒の洗浄を行う。</p>	<p>工場にて SUS316 製キャップの上部に 690合金を肉盛する。(余肉・余長あり) 内外径の余肉、余長を現地現合寸法に加工後、2分割し長手開先を加工する。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">項 目</th> <th style="width: 70%;">詳 細</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶接方法</td> <td>ティグ溶接(手動)</td> </tr> <tr> <td>溶接姿勢</td> <td>下向き</td> </tr> <tr> <td>溶加材</td> <td>690合金相当</td> </tr> <tr> <td>シールドガス</td> <td>Ar 100%</td> </tr> <tr> <td>裏ガス保護</td> <td>行う</td> </tr> <tr> <td>層間温度</td> <td>177℃以下</td> </tr> <tr> <td>溶接条件</td> <td>RTTW等で確認されたもの</td> </tr> </tbody> </table>	項 目	詳 細	溶接方法	ティグ溶接(手動)	溶接姿勢	下向き	溶加材	690合金相当	シールドガス	Ar 100%	裏ガス保護	行う	層間温度	177℃以下	溶接条件	RTTW等で確認されたもの
項 目	詳 細																	
溶接方法	ティグ溶接(手動)																	
溶接姿勢	下向き																	
溶加材	690合金相当																	
シールドガス	Ar 100%																	
裏ガス保護	行う																	
層間温度	177℃以下																	
溶接条件	RTTW等で確認されたもの																	
確 認 項 目	<p>次ステップ以降の開先検査のための寸法確認</p>	<p>(溶接前) 材料検査(キャップ)、開先検査(開先面) (溶接後) PT、UT(※)、外観検査、次ステップ以降の開先検査のための寸法確認、溶接作業検査(溶接施工記録による入熱量等の確認) ※: 自主管理</p>																



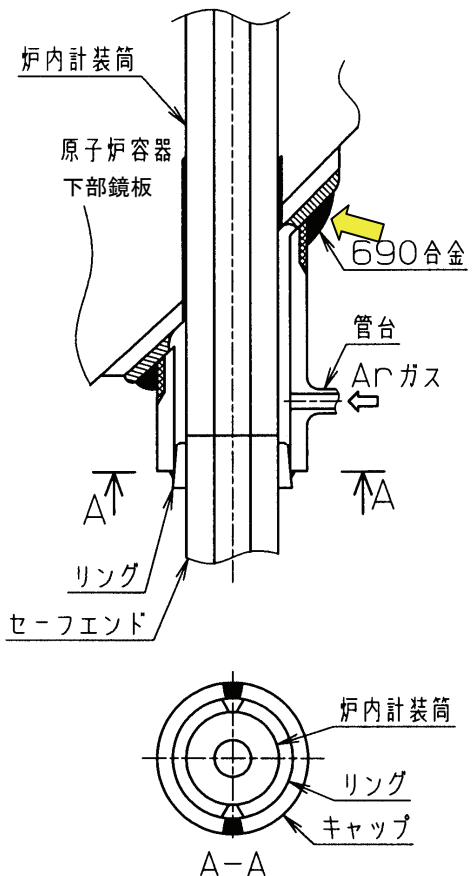
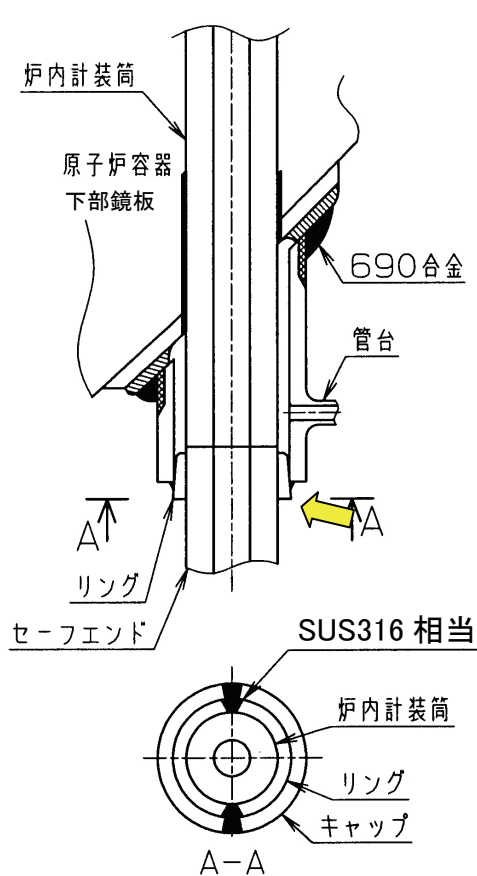
## キャップ工法 施工手順図(4/8)

項目	ステップ6：キャップの長手溶接 1	ステップ7：キャップの長手溶接 2																																
概 念 図																																		
施 工 内 容	<p>炉内計装筒下方（コンジットチューブ部）にて、半割れキャップを長手溶接し、円筒状に組立てる。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">項 目</th> <th style="width: 80%;">詳 細</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶接方法</td> <td>ティグ溶接（手動）</td> </tr> <tr> <td>溶接姿勢</td> <td>立向き上進</td> </tr> <tr> <td>溶加材</td> <td>SUS316 相当</td> </tr> <tr> <td>シールドガス</td> <td>Ar 100%</td> </tr> <tr> <td>裏ガス保護</td> <td>行う</td> </tr> <tr> <td>層間温度</td> <td>177℃以下</td> </tr> <tr> <td>溶接条件</td> <td>RTTW 等で確認されたもの</td> </tr> </tbody> </table>	項 目	詳 細	溶接方法	ティグ溶接（手動）	溶接姿勢	立向き上進	溶加材	SUS316 相当	シールドガス	Ar 100%	裏ガス保護	行う	層間温度	177℃以下	溶接条件	RTTW 等で確認されたもの	<p>炉内計装筒下方（コンジットチューブ部）にてキャップ上部の長手溶接の残部を 690 合金を用いて溶接する。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">項 目</th> <th style="width: 80%;">詳 細</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶接方法</td> <td>ティグ溶接（手動）</td> </tr> <tr> <td>溶接姿勢</td> <td>立向き上進</td> </tr> <tr> <td>溶加材</td> <td>690 合金相当</td> </tr> <tr> <td>シールドガス</td> <td>Ar 100%</td> </tr> <tr> <td>裏ガス保護</td> <td>行う</td> </tr> <tr> <td>層間温度</td> <td>177℃以下</td> </tr> <tr> <td>溶接条件</td> <td>RTTW 等で確認されたもの</td> </tr> </tbody> </table>	項 目	詳 細	溶接方法	ティグ溶接（手動）	溶接姿勢	立向き上進	溶加材	690 合金相当	シールドガス	Ar 100%	裏ガス保護	行う	層間温度	177℃以下	溶接条件	RTTW 等で確認されたもの
項 目	詳 細																																	
溶接方法	ティグ溶接（手動）																																	
溶接姿勢	立向き上進																																	
溶加材	SUS316 相当																																	
シールドガス	Ar 100%																																	
裏ガス保護	行う																																	
層間温度	177℃以下																																	
溶接条件	RTTW 等で確認されたもの																																	
項 目	詳 細																																	
溶接方法	ティグ溶接（手動）																																	
溶接姿勢	立向き上進																																	
溶加材	690 合金相当																																	
シールドガス	Ar 100%																																	
裏ガス保護	行う																																	
層間温度	177℃以下																																	
溶接条件	RTTW 等で確認されたもの																																	
確 認 項 目	<p>（溶接前）開先検査（キャップ長手の開先合せ） （溶接後）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ PT、外観検査</li> <li>・ 溶接作業検査（溶接施工記録による入熱量等の確認）</li> <li>・ 機械検査（※1）</li> </ul> <p>※1：試験板の取付けと溶接が高放射線量下の作業につき、溶接規格第4部の表-3の解説(2) d. a) ④のその他本体に取付けことが著しく困難な場合に該当するため、試験板は本体と別個に置く。</p>	<p>（溶接前）－ （溶接後）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ PT、RT（※2）、次ステップ以降の開先検査のための寸法確認</li> <li>・ 溶接作業検査（溶接施工記録による入熱量等の確認）</li> <li>・ 機械検査（※3）</li> </ul> <p>※2：キャップ長手溶接 1 と 2 を同時撮影 ※3：試験板はキャップ長手溶接 1 と併用</p>																																

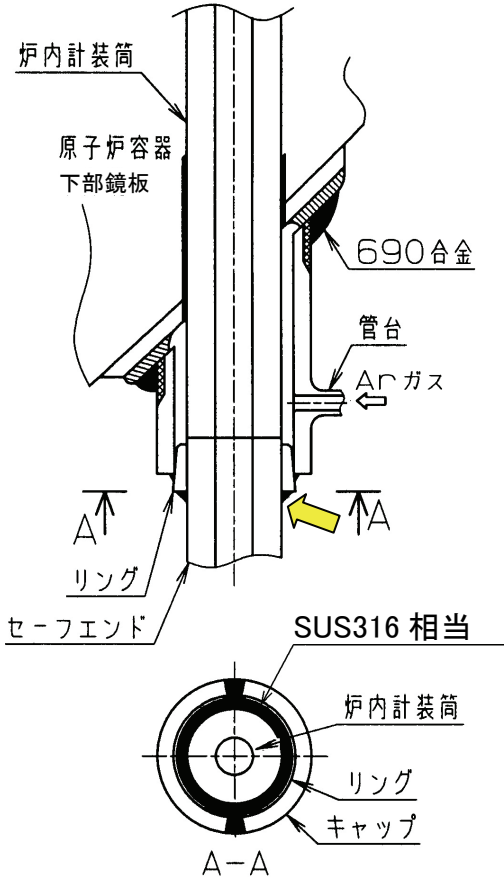
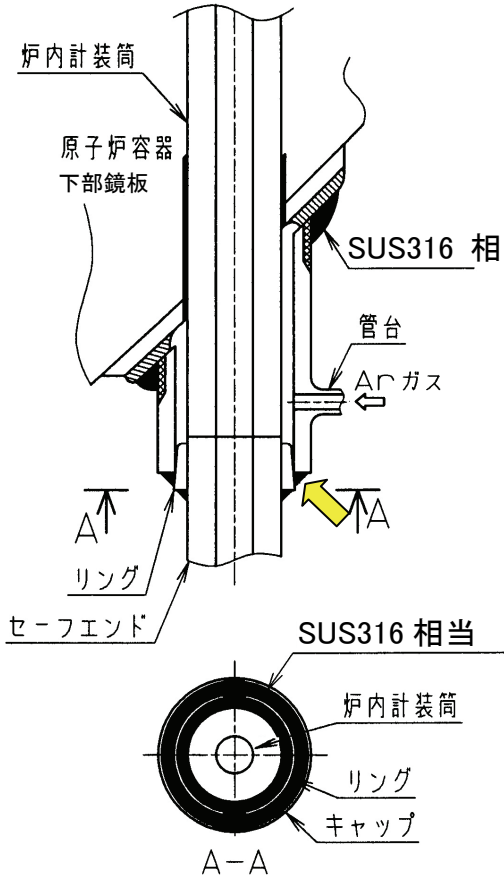
### キャップ工法 施工手順図 (5/8)

項目	ステップ8：リング挿入及びキャップ開先合せ及び仮付け	ステップ9：リング仮付け
概 念 図		
施 工 内 容	<p>キャップの下部に2分割のテーパ付きリングを挿入し、キャップと690合金肉盛との開先合せ・仮付け溶接を行う。</p>	<p>キャップとリング、リングとセーフエンドの開先合せ・仮付け溶接を行う。</p>
確 認 項 目	<p>(仮付け溶接前) 材料検査(リング)、次ステップ以降の開先検査のための寸法確認</p>	<p>(仮付け溶接後) 開先検査(キャップ上部<sup>(※)</sup>、下部、リング長手、リング下部の開先合せ) ※：芯ずれ量及びギャップとも2mm以下であることを確認</p>

## キャップ工法 施工手順図(6/8)

項目	ステップ 10：キャップ上部すみ肉溶接	ステップ 11：リング長手溶接																																
概念図																																		
施工内容	<p>付属の管台から Ar ガスを入れながらキャップ上部と 690 合金肉盛とのすみ肉溶接を施工する。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">項目</th> <th style="width: 85%;">詳細</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶接方法</td> <td>ティグ溶接（手動）</td> </tr> <tr> <td>溶接姿勢</td> <td>上向き</td> </tr> <tr> <td>溶加材</td> <td>690 合金相当</td> </tr> <tr> <td>シールドガス</td> <td>Ar 100%</td> </tr> <tr> <td>裏ガス保護</td> <td>行う</td> </tr> <tr> <td>層間温度</td> <td>177℃以下</td> </tr> <tr> <td>溶接条件</td> <td>RTTW 等で確認されたもの</td> </tr> </tbody> </table>	項目	詳細	溶接方法	ティグ溶接（手動）	溶接姿勢	上向き	溶加材	690 合金相当	シールドガス	Ar 100%	裏ガス保護	行う	層間温度	177℃以下	溶接条件	RTTW 等で確認されたもの	<p>リングの長手溶接を施工する。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">項目</th> <th style="width: 85%;">詳細</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶接方法</td> <td>ティグ溶接（手動）</td> </tr> <tr> <td>溶接姿勢</td> <td>立向き上進</td> </tr> <tr> <td>溶加材</td> <td>SUS316 相当</td> </tr> <tr> <td>シールドガス</td> <td>Ar 100%</td> </tr> <tr> <td>裏ガス保護</td> <td>行なわない</td> </tr> <tr> <td>層間温度</td> <td>177℃以下</td> </tr> <tr> <td>溶接条件</td> <td>RTTW 等で確認されたもの</td> </tr> </tbody> </table>	項目	詳細	溶接方法	ティグ溶接（手動）	溶接姿勢	立向き上進	溶加材	SUS316 相当	シールドガス	Ar 100%	裏ガス保護	行なわない	層間温度	177℃以下	溶接条件	RTTW 等で確認されたもの
項目	詳細																																	
溶接方法	ティグ溶接（手動）																																	
溶接姿勢	上向き																																	
溶加材	690 合金相当																																	
シールドガス	Ar 100%																																	
裏ガス保護	行う																																	
層間温度	177℃以下																																	
溶接条件	RTTW 等で確認されたもの																																	
項目	詳細																																	
溶接方法	ティグ溶接（手動）																																	
溶接姿勢	立向き上進																																	
溶加材	SUS316 相当																																	
シールドガス	Ar 100%																																	
裏ガス保護	行なわない																																	
層間温度	177℃以下																																	
溶接条件	RTTW 等で確認されたもの																																	
確認項目	<p>(溶接前) -</p> <p>(溶接後)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 初層 PT<sup>(注)</sup>、中間層 PT、PT (最終表面)</li> <li>・ 溶接作業検査 (溶接施工記録による入熱量等の確認)</li> </ul> <p>注: RTTW 等の結果に追加</p>	<p>(溶接前) -</p> <p>(溶接後)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ PT<sup>(※1)</sup>、UT<sup>(※1)</sup>、外観検査</li> <li>・ 溶接作業検査 (溶接施工記録による入熱量等の確認)</li> <li>・ 機械検査<sup>(※2)</sup></li> </ul> <p>※1: リング長手溶接単独では UT 用接触媒質、PT 液が内面に浸入し検査が困難につき、検査時期はリング上部すみ肉溶接(ステップ 13)及びリングした部すみ肉溶接(ステップ 12)の 1 層目が完了し、UT 用接触媒質、PT 液が内面に浸入しない状態になってから検査可能な範囲を実施。</p> <p>※2: 試験板の取付けと溶接が高放射線量下の作業につき、溶接規格第 4 部の表-3 の解説(2) d. a) ④のその他本体に取付けことが著しく困難な場合に該当するため、試験板は本体と別個に置く。</p>																																

## キャップ工法 施工手順図(7/8)

項目	ステップ 12：リング下部すみ肉溶接	ステップ 13：キャップ下部（リング上部）すみ肉溶接																																
概 念 図																																		
施 工 内 容	<p>リング下部とセーフエンドのすみ肉溶接を施工する。（キャップ下部すみ肉溶接と交互作業）</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">項目</th> <th style="width: 80%;">詳細</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶接方法</td> <td>ティグ溶接（手動）</td> </tr> <tr> <td>溶接姿勢</td> <td>上向き</td> </tr> <tr> <td>溶加材</td> <td>SUS316 相当</td> </tr> <tr> <td>シールドガス</td> <td>Ar 100%</td> </tr> <tr> <td>裏ガス保護</td> <td>行う</td> </tr> <tr> <td>層間温度</td> <td>177℃以下</td> </tr> <tr> <td>溶接条件</td> <td>RTTW 等で確認されたもの</td> </tr> </tbody> </table>	項目	詳細	溶接方法	ティグ溶接（手動）	溶接姿勢	上向き	溶加材	SUS316 相当	シールドガス	Ar 100%	裏ガス保護	行う	層間温度	177℃以下	溶接条件	RTTW 等で確認されたもの	<p>キャップ下部とリング上部とのすみ肉溶接を施工する。（リング下部すみ肉溶接と交互作業）</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">項目</th> <th style="width: 80%;">詳細</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶接方法</td> <td>ティグ溶接（手動）</td> </tr> <tr> <td>溶接姿勢</td> <td>上向き</td> </tr> <tr> <td>溶加材</td> <td>SUS316 相当</td> </tr> <tr> <td>シールドガス</td> <td>Ar 100%</td> </tr> <tr> <td>裏ガス保護</td> <td>行う</td> </tr> <tr> <td>層間温度</td> <td>177℃以下</td> </tr> <tr> <td>溶接条件</td> <td>RTTW 等で確認されたもの</td> </tr> </tbody> </table>	項目	詳細	溶接方法	ティグ溶接（手動）	溶接姿勢	上向き	溶加材	SUS316 相当	シールドガス	Ar 100%	裏ガス保護	行う	層間温度	177℃以下	溶接条件	RTTW 等で確認されたもの
項目	詳細																																	
溶接方法	ティグ溶接（手動）																																	
溶接姿勢	上向き																																	
溶加材	SUS316 相当																																	
シールドガス	Ar 100%																																	
裏ガス保護	行う																																	
層間温度	177℃以下																																	
溶接条件	RTTW 等で確認されたもの																																	
項目	詳細																																	
溶接方法	ティグ溶接（手動）																																	
溶接姿勢	上向き																																	
溶加材	SUS316 相当																																	
シールドガス	Ar 100%																																	
裏ガス保護	行う																																	
層間温度	177℃以下																																	
溶接条件	RTTW 等で確認されたもの																																	
確 認 項 目	<p>（溶接前）－ （溶接後）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・初層 PT（※）、中間層 PT、PT(最終表面)</li> <li>・溶接作業検査（溶接施工記録による入熱量等の確認）</li> </ul> <p>※:RTTW 等の結果に追加。なお、溶接を3ビードで終了する場合、初層と中間層は同一となる。</p>	<p>（溶接前）－ （溶接後）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・初層 PT（※1）、中間層 PT、PT(最終表面)</li> <li>・溶接作業検査（溶接施工記録による入熱量等の確認）</li> <li>・寸法検査(内径、板厚;なお、内径は外径から板厚を差し引いて算出する)</li> <li>・寸法確認(※2)</li> </ul> <p>※1:RTTW 等の結果に追加。なお溶接を3ビードで終了した場合、初層と中間層は同一となる。 ※2:自主管理としての真円度計測含む</p>																																

### キャップ工法 施工手順図(8/8)

項目	ステップ 14 : キャップへの不活性ガス封入、耐圧試験
概 念 図	
施 工 内 容	<p>ステップ 13 までの施工完了後キャップ内に Ar 等の不活性ガスを封入する。</p> <p>また、耐圧試験時はキャップ内を脱気水により加圧し試験を行う。</p> <p>なお、試験後はキャップ内を脱気水で満たした状態で、プラント起動となる。</p>
確 認 項 目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧試験(耐圧検査、外観検査)</li> <li>・ 据付検査、外観検査</li> </ul>

## キャップ工法の各部材の供用中の健全性について

### 1 はじめに

炉内計装筒のキャップ工法では、既設の耐圧バウンダリの外側に新たに接液部が生じることとなる。そこで、新たに接液部となる部位の健全性の評価を実施した。

### 2 評価対象箇所

表 1 および図 1 に評価対象箇所を示す。

表 1 健全性評価を実施する部位

想定される 経年劣化事象	図中の番号	部位(材料)
PWSCC	①	既設 600 合金肉盛座 (600 合金肉盛)
SCC	②	キャップ、リング(ともに SUS316)および溶接熱影響部 〔 炉内計装筒セーフエンド(SUS316/SUS304)について 〕 も同様
腐食	③	下部鏡板 (低合金鋼 SQV2A)

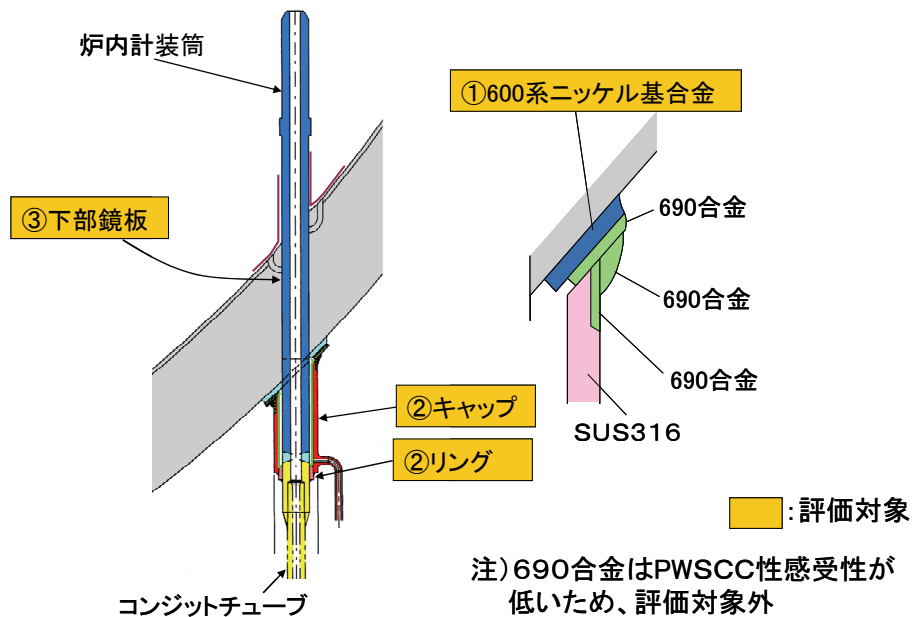


図 1 評価対象箇所

出典:「原子炉容器炉内計装筒管台補修工法適用に関する確性試験報告書」、  
「電気施設技術基準機能性化適合調査溶接検討会資料(原子炉容器炉内計装筒管台補修工法)」

### 3 評価結果

#### (600 合金肉盛)

キャップ内面で接液する箇所はショットピーニングもしくはバフ研磨により、圧縮応力を付与する。また、炉内計装筒貫通穴の内面は製作時の穴開け加工の効果により、キャップ取付け溶接後も圧縮側になっていることが確認されている。

このことから、既設 600 合金肉盛座には PWSCC 発生必要条件の引張残留応力が存在しないため、PWSCC が発生する可能性は小さい。

#### (ステンレス鋼)

図 2 はステンレス鋼の SCC に及ぼす水中の酸素濃度と塩素濃度の影響を示したものである。通常 PWR1 次系環境では、溶存酸素濃度で 5ppb、Cl 濃度で 0.05ppm 以下に管理されており SCC の発生の可能性は小さいと評価される。

また、定検中は高溶存酸素環境になる可能性があるが、SCC は図 3 に示すとおり約 90℃以上で発生することから定検中はほぼ常温であり、発生する可能性は小さい。また、定検後起動する過程においては、耐圧試験時にキャップ中の水は脱気水に置換されることから高溶存酸素環境となることはなく、SCC が発生する可能性は小さい。

なお、関西電力美浜2号機蒸気発生器セーフエンド部(SUS316)の溶接部近傍において、オーステナイト結晶粒界に沿った微小な割れが確認され、割れの様相から、内面のごく表層部に機械加工の影響と考えられる高い引張残留応力が発生し、運転中の応力等によりオーステナイト結晶粒界に沿った割れが進展したものとされている。PWR 環境下で冷間加工されたステンレス鋼に対し、SCC 発生と進展の研究が進められているところであり、現状 SCC の発生は認められていないが、キャップの部材内表面の表層部は機械加工の影響が懸念されることから、念のため、溶接前にキャップおよびリングの内面にバフ施工を行い、圧縮応力を付与する。

#### (低合金鋼)

低合金鋼の高温ほう酸水中での腐食データを図 4 に示す(ほう酸濃度は PWR1 次系環境を模擬し、1,200ppm)。このデータから実機相当条件における低合金鋼の腐食量は、運転期間中30年間で  $1.1 \times 10^{-2} \sim 1.6 \times 10^{-2}$  mm 程度と予測され極めて軽微な値であり、機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、定検中は原子炉容器が開放されることから、原子炉容器内部が運転中よりも溶存酸素濃度が高い環境となるが、炉内計装筒部等のき裂を通じて供給される酸素量は微量であり、これによる腐食量の増分が機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。(仮に低合金鋼と全て反応するとしても腐食量の増分は  $9.6 \times 10^{-5}$  mm 程度;参考-1)

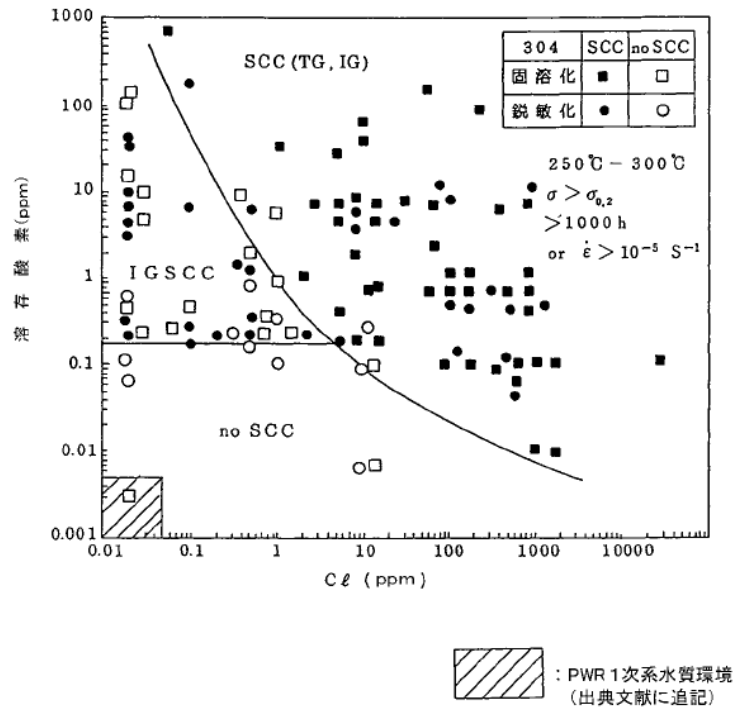


図2 ステンレス鋼の高温水によるSCCに及ぼす溶存酸素と塩素イオンの関係<sup>(1)</sup>

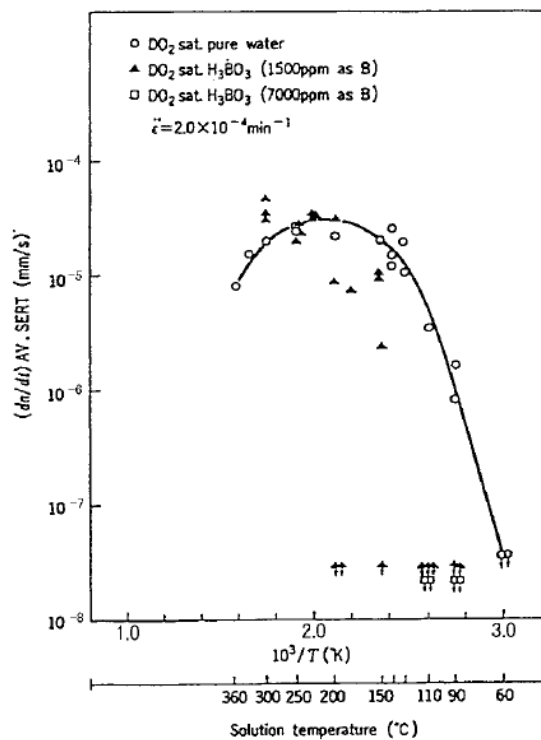


図3 ステンレス鋼の SCC に対する温度の影響<sup>(2)</sup>

(参考文献)

- (1) M. O. Speidel : 「Predictive Method for Assessing Corrosion Damage to BWR Piping and PWR Steam Generator」Edited by H. Okada and R. W. Staehle , p31 NACE(1978)
- (2) 水原ら, 「高温水中のステンレス鋼の応力腐食割れ感受性に及ぼす鋭敏化度及びほう酸の影響」, 三菱重工技報 Vol.19 No.6 (1982)





## 定検中の溶存酸素濃度環境における低合金鋼の腐食について

### 1. はじめに

本資料は、定検中の溶存酸素濃度環境における、原子炉容器炉内計装筒と低合金鋼下部鏡のすき間部分の低合金鋼の腐食量増加の影響について評価したものである。

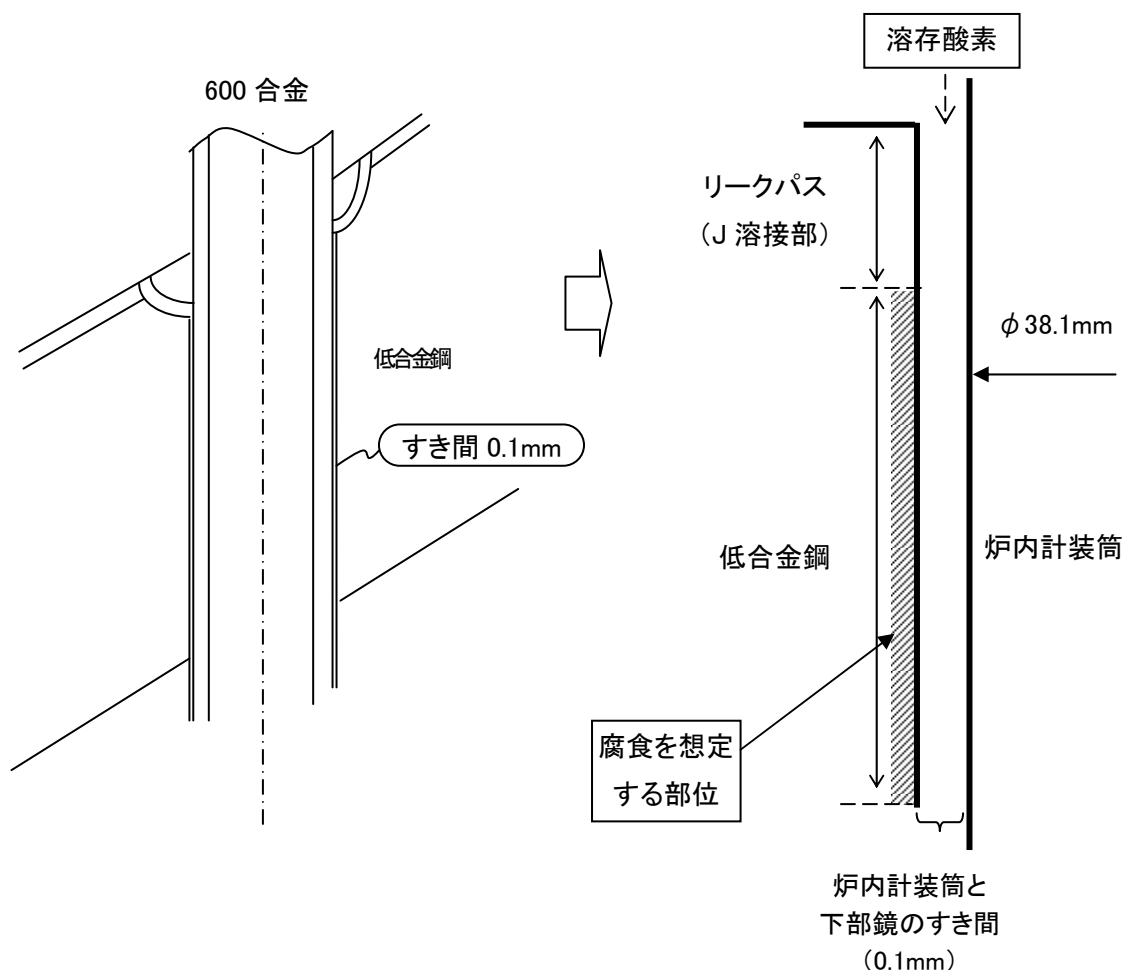
### 2. 評価方法

(前提条件)

- ① PWSOC のき裂によるリークパス幅は、安全側にすき間と同様 0.1mm とし、かつ全周にわたって存在するものとする。リークパス長さは J 溶接部の長い側の脚長を考慮し 24mm とする。(リークパスの面積は  $38.1\pi \times 0.1 = \text{約 } 12\text{mm}^2 \approx \phi 4\text{mm}$  相当)
- ② 炉内計装筒と下部鏡のすき間の幅は 0.1mm、長さは J 溶接部から原子炉容器外面までの寸法を考慮し 140mm とする。
- ③ リークパスとすき間を内筒モデルと考え、内筒外壁が低合金鋼で腐食していくものとする。

(評価)

き裂のリークパス幅は安全側に炉内計装筒と下部鏡のすき間と同じ 0.1mm で全周にわたりあるものとして、円筒状のすき間における酸素の拡散量を算出する。



溶存酸素の透過量  $J$  は次式で表される。

$$J = \frac{D \cdot C_0}{L} = \frac{6 \times 10^{-5} \times 5 \times 10^{-3}}{2.4} = 1.25 \times 10^{-7} \quad (\text{mg/cm}^2 \cdot \text{s})$$

ここで、  
D: 酸素の拡散定数 (60°C で  $6 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $0.108 \exp(-4963/RT)$ )、  
C<sub>0</sub>: 溶存酸素濃度 (60°C で 5ppm=5mg/kg)、  
L: 透過する距離 (J 溶接部の平均長さは約 2.4cm)

φ38.1mm、すき間 0.1mm の面積の通過に対する、酸素の透過量は以下のとおり微小であり、ほう酸腐食に対し大きな加速要因とならず、機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

$$\begin{aligned} 1.25 \times 10^{-7} \times 3.81 \pi \times 0.01 &= 1.50 \times 10^{-8} \quad (\text{mg/s}) \\ &= 1.50 \times 10^{-8} / 1000 / 32 = 4.68 \times 10^{-13} \quad (\text{mol/s}) \end{aligned}$$

なお、念のため透過した酸素による腐食量を保守的に以下のとおり評価する。

鉄の腐食反応は  $2\text{Fe} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_2$  で表されることから、1モルの酸素に対して Fe が 2モル反応する。よって、供給される酸素全てが腐食により消費されるとすると、鉄は 1mol=55.847g であるため、1秒当たりの鉄の消費量は、

$$2 \times 4.68 \times 10^{-13} \times 55.847 = 5.22 \times 10^{-11} \quad (\text{g/s})$$

となる。

低合金鋼の約 96% は鉄であるため、消費される低合金鋼は、

$$5.22 \times 10^{-11} \times 100 / 96 = 5.44 \times 10^{-11} \quad (\text{g/s})$$

であり、低合金鋼の比重 7.9、腐食される面積が  $5320 \pi (=38\text{mm} \times \pi \times 140\text{mm})$  とすると、腐食速度は、

$$5.44 \times 10^{-11} / (7.9 \times 5320 \pi) \times 10^3 = 4.12 \times 10^{-13} \quad (\text{mm/s})$$

となり、30 定検分 (1 定検 3 ヶ月) で、

$$4.12 \times 10^{-13} \times (30 \text{ 定検} \times 3 \text{ ヶ月} \times 30 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \times 60 \text{ 分} \times 60 \text{ 秒}) = 9.61 \times 10^{-5} \quad (\text{mm})$$

程度と微小である。

### 3. まとめ

低合金鋼の腐食量について、保守的に 30 定検分の高溶存酸素濃度環境における腐食を考慮した場合でも、その腐食量の増分は  $9.6 \times 10^{-5} \text{mm}$  程度であり、機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

以上

供用中にき裂が破壊を引き起こさないことの確認について

キャップ工法を採用した場合、残存するき裂が原子炉容器下部鏡板の破壊を引き起こさないことを確認していく必要がある。

1. 確認にあたっての考え方および方法

炉内計装筒部の応力分布より、炉内計装筒 J 溶接部では半径方向き裂が、炉内計装筒母材部では軸方向き裂が、それぞれ発生の可能性が高い。

J 溶接部のき裂、または母材部から J 溶接部に進展したき裂については、ECT により表面の長さは評価可能であるが、現状の UT 技術等では、当該部のような複雑形状部のき裂について、精度良い深さ評価が困難であることから、安全側に初期き裂を炉内計装筒 J 溶接部全体及び J 溶接部と接合している母材部が割れているものとして、維持規格 EA-3000 に基づき破壊を引き起こさないことを評価する。

上記初期き裂に対し、評価期間中のき裂進展を考慮した上で、破壊評価に際しては保守的に下部鏡板の板厚の 1/4 の深さのき裂を想定する。(図 1)

(下部鏡板の低合金鋼部は疲労によるき裂進展を、炉内計装筒母材 600 合金部は PWSCC 及び疲労によるき裂進展を考慮し、破壊評価に際してはこれらの進展量を包絡するよう設定)

低合金鋼部の疲労き裂進展は評価期間である5年では微小(0.5mm 程度)であるのに対し、破壊評価用のき裂の深さは板厚の 1/4(山側、谷側、部位で差があるが約 30mm～約 60mm 深さ)と十分に保守的に設定しており、き裂は評価期間を通じて、破壊評価用のき裂に包絡されるものと考え、表1のとおり確認していく。

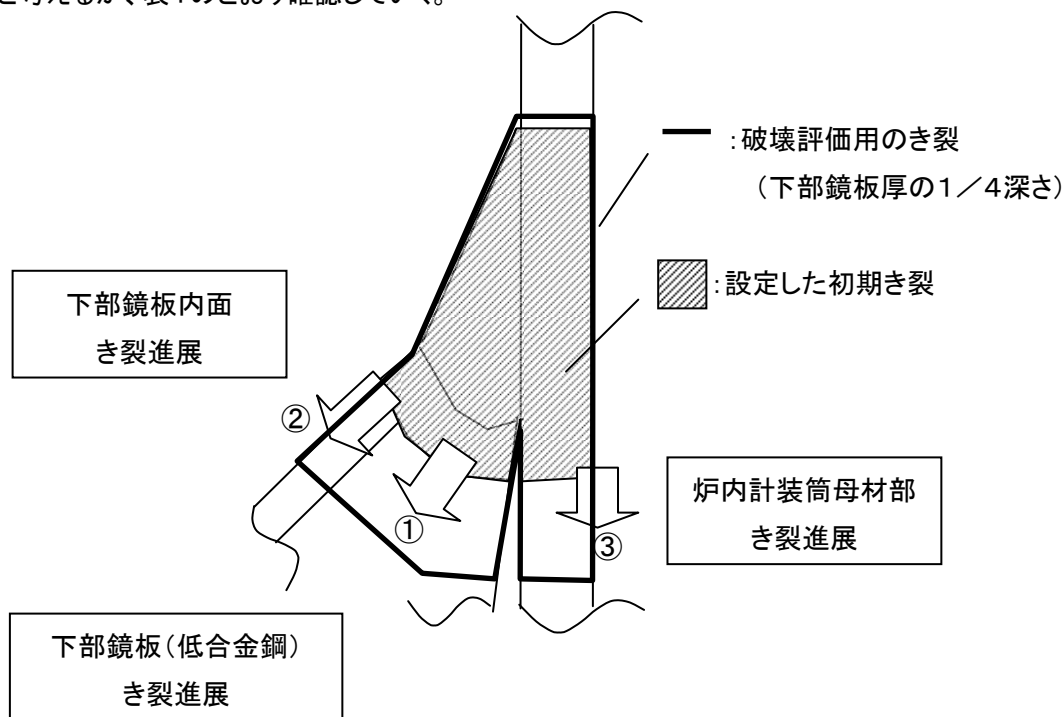


図 1 破壊評価におけるき裂形状

表 1 検査の方法(手法は図 2 参照)

	部位	進展のモード	対象	検査手法
①	下部鏡板	疲労	②③より①のき裂が破壊評価用き裂に包絡されていることを確認	— (現在の非破壊検査の技術では、直接精度良く計測することは困難)
②	下部鏡板 ステンレスオーバーレイ	疲労	ステンレス部のき裂開口端部(き裂が J 溶接部内に有る場合は、J 溶接部内で確認)	下部鏡板内表面からの ECT
③	炉内計装筒管台 母材(600 合金)	PWSCC および 疲労	600 合金部内表面のき裂開口端部(き裂が 600 合金内表面に開口していない場合は、開口しないまま、破壊評価用き裂の形状を超過することは考えがたいが、念のため 600 合金板厚内部の進展度合の推定に努める)	管台内表面からの ECT (き裂が 600 合金表面に開口していない場合、管台内表面からの UT(TOFD))

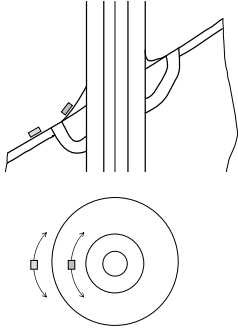
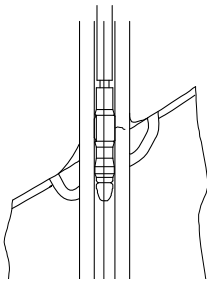
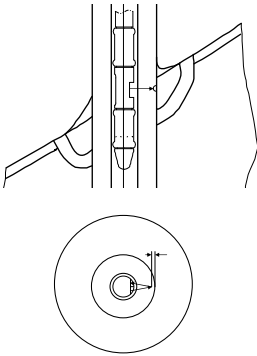
対象	探傷面	手法	概念図	半径方向(軸方向)欠陥の検出性
オーバレイの進展(②)	下部鏡板内面	ECT		SCC 1.0mm 深さ以上検出可  電共研の成果が(財)発電設備技術検査協会確性試験委員会「潜在欠陥に対する超音波ショットピーニング/ウォータージェットピーニングの影響に関する確性試験」で、ECT の検出性の条件として確認されている。
管台母材表面の進展(③)	管台母材内面	ECT		SCC 0.5mm 深さ以上検出可  メーカ社内研究の成果が(財)発電設備技術検査協会確性試験委員会「潜在欠陥に対する超音波ショットピーニング/ウォータージェットピーニングの影響に関する確性試験」で、ECT の検出性の条件として確認されている。
J溶接から管台母材への進展(③の参考)	管台母材内面	UT (TOFD)	 (注: 管台外面きず)	内径 15.2mm 管台
				SCC 2.2mm 検出可  JNES 研究「容器貫通部狭隘部の非破壊検査技術実証」(以下、「NPV」)で実証されている。
				内径 9.5mm 管台
EDM 5.0mm 以上検出可  NPV で実証されている。				

図 2 検査の手法案

## 2. 本確認方法の妥当性

図3にステンレスオーバレイから低合金鋼下部鏡板の領域での $\Delta K$ の分布を示す(過渡のうち、進展量が大きい停止時のもの)。

低合金鋼下部鏡板部の $\Delta K$ はステンレスオーバレイの $\Delta K$ よりも小さく、上記 $\Delta K$ に対し、維持規格に基づく疲労き裂進展速度を考慮すると、ステンレスオーバレイ側のき裂の進展量は約 $10^{-4}$ m/サイクル、低合金鋼下部鏡板側のき裂の進展量は約 $10^{-6}$ m/サイクルとなる。

ステンレスオーバレイ側のき裂は、下部鏡板側のき裂とともに進展することから、大幅な差がつくことはないものの、ステンレスオーバレイ側の進展量(②)は下部鏡板側の進展量(①)より大きい。

次に、炉内計装筒管台母材と下部鏡板のき裂進展解析評価結果を図4に示す。炉内計装筒管台のPWSCCおよび疲労によるき裂進展量(③)は下部鏡板のき裂進展量(①)より大きい。

①の進展は評価期間5年間で約0.5mmと評価され、評価期間通じて破壊評価用き裂に包絡される可能性は極めて高い。また、より進展の大きい②③も同様に破壊評価用き裂に包絡される可能性は極めて高いが、表1の通り検査し、破壊評価用き裂に包絡されていることを確認していく。

なお、認められたき裂のJ溶接部内表面の開口部が小さく、溶接部奥へ広がる形状であった場合、低合金鋼部のき裂先端位置は、J溶接部内において、表面のき裂開口位置からの推定よりも低合金鋼部に近接している可能性が否定できない。

しかしながら、J溶接部全体及びJ溶接部と接合している母材部全体が割れた保守的な初期き裂であっても、評価期間5年間(5サイクル)での疲労によるき裂進展量(①)は、0.5mm程度であることから、上記のき裂が低合金鋼部を選択的に進展し、破壊評価用のき裂形状(山側、谷側、部位で差があるが約30mm～約60mm深さ)を超過することは考えられない。

一方、J溶接部内のPWSCC・疲労によるき裂進展量および②の疲労き裂進展量は、低合金鋼部の進展量より有意に大きく、き裂先端位置(②)は、低合金鋼側のき裂(①)より早く破壊評価用き裂に到達すると考えられる。

したがって、き裂先端位置(②③)を確認することで、破壊を引き起こさないことは確認できる。

## 3. 検査頻度

定期事業者検査毎に表1の検査を実施する。

(参考)周方向き裂への対応について

溶接部の周方向のき裂、炉内計装筒管台内表面の周方向き裂は、破壊を引き起こすき裂となるような進展はないと考えられるが、保守的に初期き裂を設定、破壊を引き起こさないことの評価を行う。

また、UT、ECTの組み合わせによりき裂が破壊を引き起こすものとならないことを確認していく。

以上

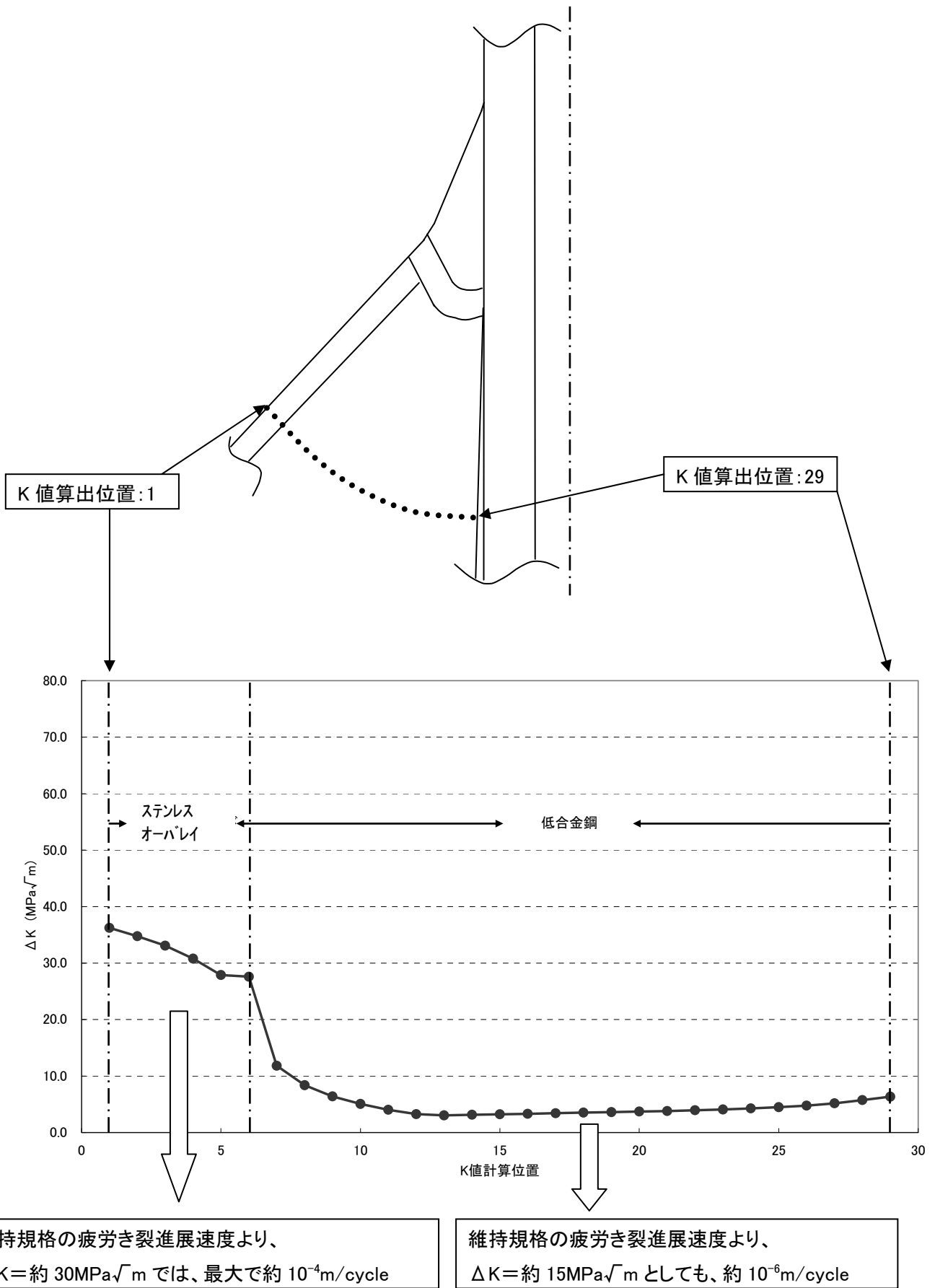
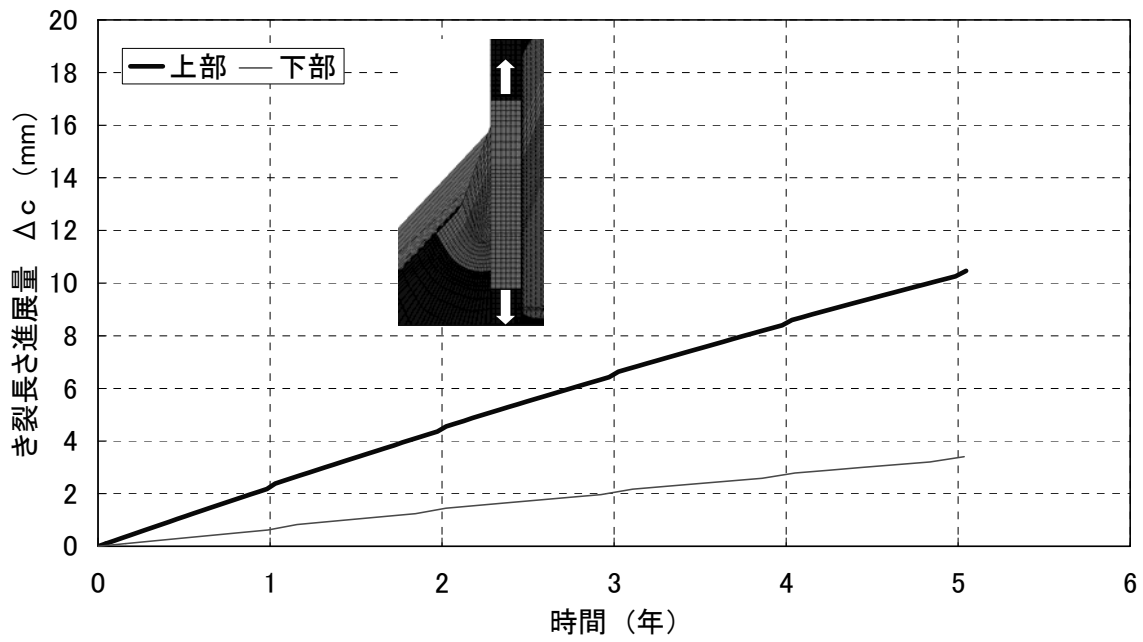
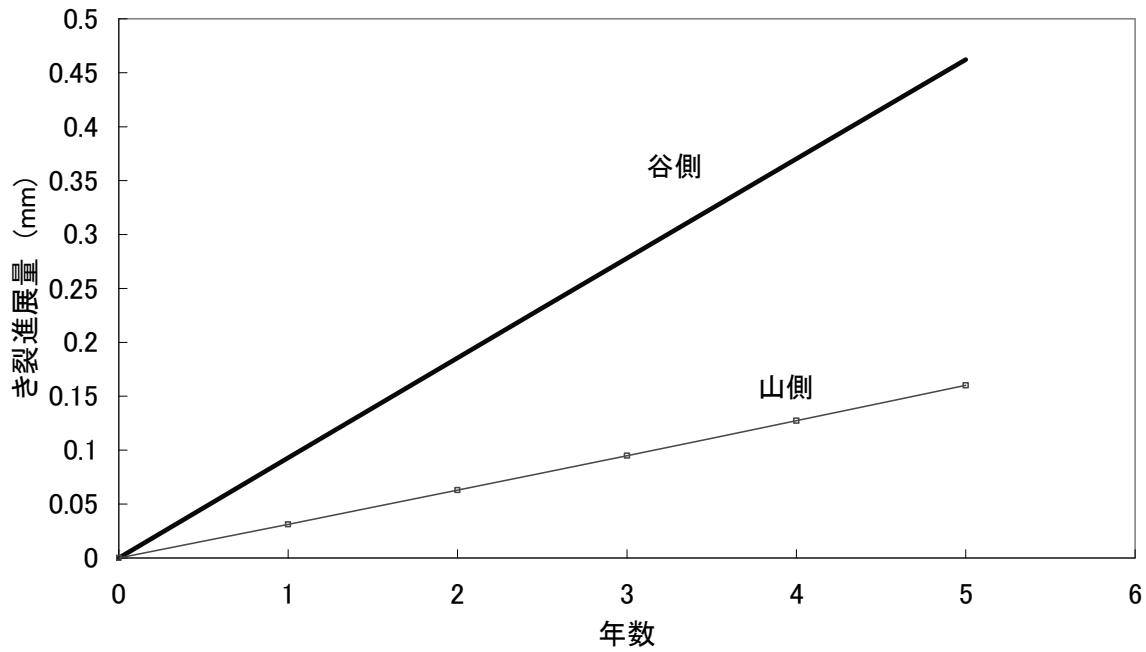


図3 停止時におけるステンレスオーバレイ及び低合金鋼の $\Delta K$ 値





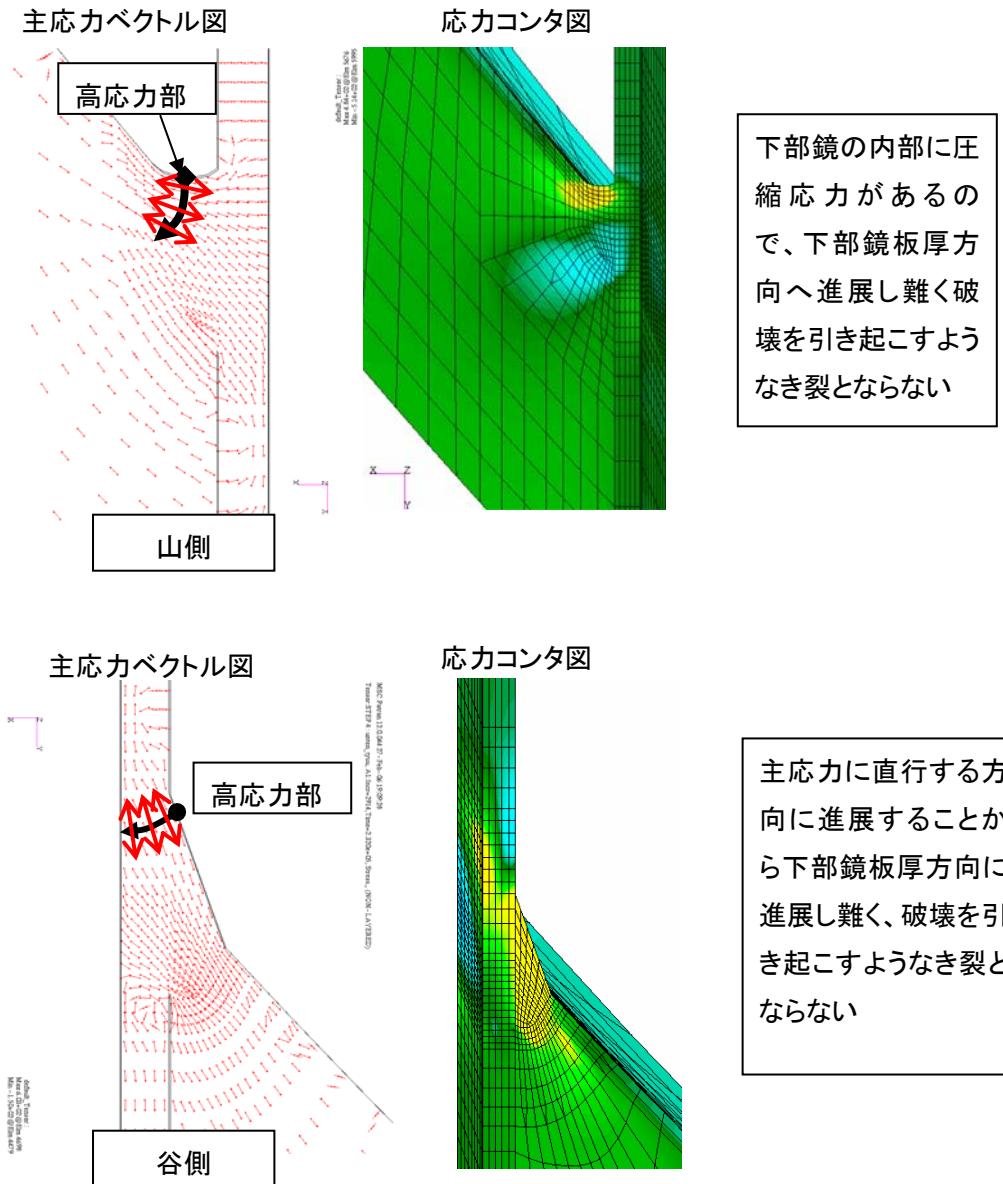
炉内計装筒管台のPWSCCと疲労によるき裂進展評価結果



下部鏡板の疲労き裂進展評価結果

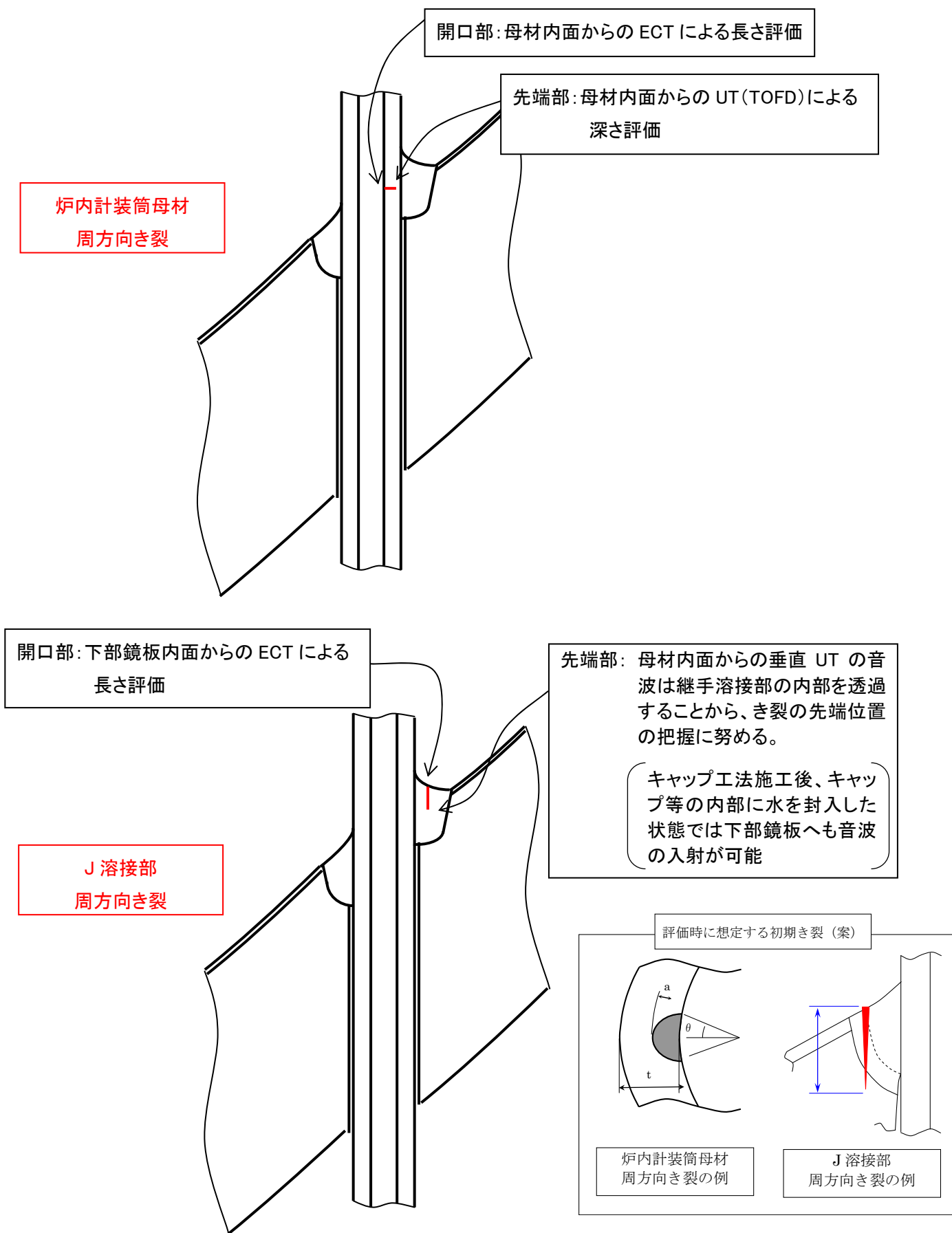
図4 炉内計装筒と下部鏡板のき裂進展評価結果

- 溶接金属部の周方向き応力解析結果から推定される最大主応力ベクトル図から主応力に直交する方向に進展を予測したところ下部鏡板厚方向に進展せず、破壊を引き起こさないと考えられる結果となった。



- 母材の周方向き裂進展については、0.5mm 深さのき裂が 40 万時間後に約 1.3mm 深さになると評価されている。(日本原子力技術協会 PWR 炉内構造物点検評価「原子炉容器炉内計装筒」)

参考図1 周方向欠陥の進展挙動の予測



参考図2 周方向欠陥の確認方法

## キャップ工法の適用にあたっての留意事項

キャップ工法の適用にあたり、留意する事項は下記のとおりである。

## 1. 暫定的な補修方法とすること

キャップ工法の各部材は適切な耐食性を含むものを使用するとともに、すみ肉溶接の形状による応力集中について、すみ肉構造の評価に関するWSRの成果を用いて規格（旧告示501号）の手法より安全側に考慮したうえで、疲労破壊が生じないことをRTTW等で確認している。

また、RTTW等では別紙1添付4のとおりキャップ工法の各部材（SUS316等）および原子炉容器の下部鏡板（低合金鋼）について供用中の健全性を確認しているが、キャップのすみ肉溶接部は体積試験ができないため、万一欠陥が発生した際には漏えいを未然に検知できない。

また、供用中にき裂により破壊に至らないことの確認のため、ECT、UTを行っていくこととなるが、都度下部炉内構造物の取り出しを伴う大規模な作業となることなどから、キャップ工法は抜本的な取替工法を実施するまでの間の暫定的な補修方法とし、機器の健全性が十分な保守性を持って確認できている5年間（5サイクル）を適用の年限とする。

## 2. 初層PTの追加

原子炉容器の下部鏡板とキャップの溶接継手、キャップとリングの溶接継手、及びリングと炉内計装筒のセーフエンドの溶接継手のすみ肉溶接施工時の非破壊検査はRTTW等での規定内容は中間および最終層のPTであるが、すみ肉溶接はルート部の溶け込みが重要であることから、初層PTを追加する。

## 3. 開先合わせ

原子炉容器の下部鏡板とキャップの溶接は、現地にて傾きを有する690合金肉盛の面とキャップの上面の角度を合わせる必要があり、高線量のため短時間で精度よく作業を行う必要があることから、開先合わせの前に、予め、肉盛座を型取りしてその形状に合うように、工場にてキャップ端面の加工を行う。

また、下部鏡板の690合金肉盛とキャップの隙間および芯ずれが2mm以内であれば健全な溶接が確保できることがRTTW等で確認されていることから、溶接事業者検査のうち開先検査において、ゲージ等を用いて許容値以内であることを確認する。

なお、キャップとリングの溶接、及びリングと炉内計装筒のセーフエンドの溶接においては、キャップおよびリングの加工が工場で行えること等から、精度よい開先合わせが可能である。

#### 4. 溶込みの確保

##### (1) 溶接士の技能の確認

溶接士は溶接規格第3部溶接士技能認証標準の規定どおり認証されたものであるとともに、すみ肉溶接の技能トレーニング（添付）を行い、溶接事業者検査のうち、溶接士検査において、記録確認を行う。

##### (2) 溶接積層厚さへの配慮

原子炉容器の下部鏡板とキャップの溶接については、セットオン<sup>(注1)</sup>の形になっていることから、他のセットイン<sup>(注2)</sup>の形であるキャップとリングの溶接、及びリングと炉内計装筒のセーフエンドの溶接と異なる。

設計・建設規格ではクラス1容器の継手区分Dにはセットオンのものは完全溶込溶接のものしか記載がないことから、作業に伴う被ばくが過大とならないよう留意しつつ、溶接積層を別紙1添付1の設計に対し、のど厚を十分な厚さとし、構造強度の裕度の向上に努める。

##### (注1)

セットオン…ここでは、便宜上、一方の部材に、取り付く部材が乗せられた状態で取り付く継手のことをいう。（設計・建設規格 図PVB-4214-1 (g) (クラス1容器継手区分Dの構造) のような取り付け方)

##### (注2)

セットイン…ここでは、便宜上、一方の部材に、取り付く部材が、差し込まれている継手のことをいう。（設計・建設規格 図PVB-4215-2 (加圧器の管台に加熱器を取り付ける継手) のような取り付け方)

以上

添付：キャップ工法のすみ肉溶接技能トレーニング要領

## キャップ工法のすみ肉溶接技能トレーニング要領

### 1. 適用範囲

容器貫通接合部キャップ補修工法（以下、キャップ工法）のすみ肉溶接を行う溶接士のトレーニングに適用する。

本要領にてトレーニングを行う溶接士は、技能の区分 TW-3rR-41P-1 または TW-4rR-41P-1 の資格を有すものであり、原子炉容器の下部鏡板とキャップの溶接継手を念頭に置き<sup>(注)</sup>、690合金の溶接の技能に対し行う。

なお、キャップとリングの溶接継手、及びリングと炉内計装筒のセーフエンドの溶接継手は、690合金に比して容易なステンレスの溶接であることに加え、傾きを持たず作業性がよいことから、技能の区分 TW-3rR-5P-1 または TW-4rR-5P-1 の資格を有すものは施工可能とする。

#### (注)

原子炉容器の下部鏡板とキャップの溶接については、セットオンの形になっていることから、他のセットインの形であるキャップとリングの溶接、及びリングと炉内計装筒のセーフエンドの溶接と異なる。設計・建設規格ではクラス1容器の継手区分Dにはセットオンのものは完全溶込溶接のものしか記載がないことから、十分な保安水準の確保のために溶け込みの確保に留意する。

### 2. 技能トレーニングの方法

(1) 溶接方法は、ティグ溶接とする。

(2) 母材は、溶接規格第2部表-2の母材の区分P-43に該当するものとする。

(3) 溶加材は、溶接規格第2部表-5溶加材またはウェルドインサートの区分R-43に該当するものとする。

(4) 試験体形状

(a) 図1に示す形状、寸法とする。

(b) 板は施工対象部位のキャップ取り付け部中心位置での傾きに合わせる。対象箇所が複数ある場合は、傾きの大きい方の角度とする。

(c) すみ肉溶接部が上向きになるように試験体を鉛直に固定した状態で行う。

(5) 試験方法

(a) 外観試験

溶接規格第3部3.2(1)d.を準用し、次の項目について、目視で評価する。

- (i) ビードの形状
- (ii) 溶接の始点および終点の状況
- (iii) オーバーラップ、アンダーカットおよびピットの状況
- (iv) 変形

(b) 浸透探傷試験

初層、中間層、最終層溶接後に行う。

(c) 断面試験（マクロ試験）

試験体を切断し、4断面を観察する。観察位置は図2の0°、90°、180°、270°位置とする。

(6) 合否判定基準

(a) 外観試験

各項目が著しく不良でないこと。

(b) 浸透探傷試験

溶接規格第3部3.2(1)e.(d)①(iii)を準用し、判定を行う。

(注：同規定は管と管板の取り付け溶接またはクラッド溶接に対するもの)

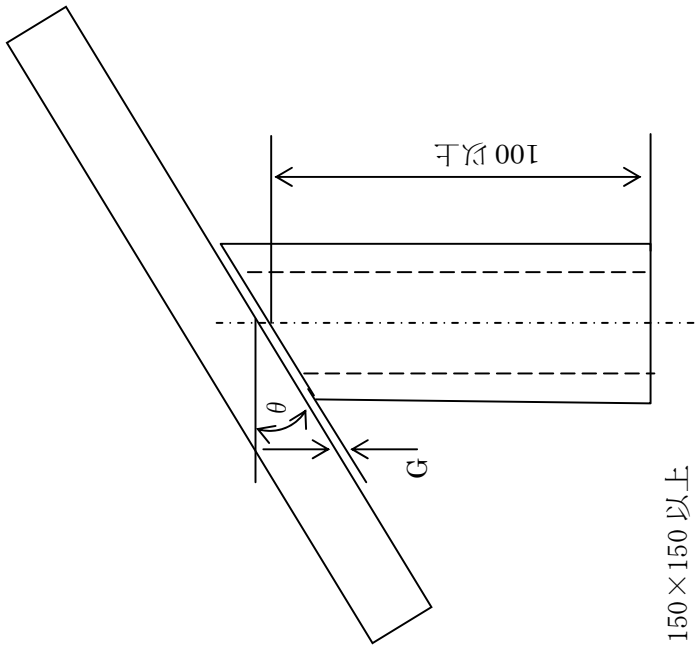
(c) 断面試験

ルート部の溶込み不足、融合不良や溶接割れなどの欠陥がないこと。

(7) 有効期限

「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の解釈について」別記—10「日本機械学会「溶接規格」等の適用に当たって」3.(4)に準じ、2年間とする。

以上



板の寸法 150×150以上

板厚 15以上

管の外径 実機のキヤップの外径

管の厚さ 実機のキヤップの厚さ

板の傾き  $\theta$  実機のキヤップ取り付け位置中心での下鏡の面の傾き (公差考慮)

管と板のキヤップ G は開先合わせ時に 0~2

溶接脚長は、実機寸法以上

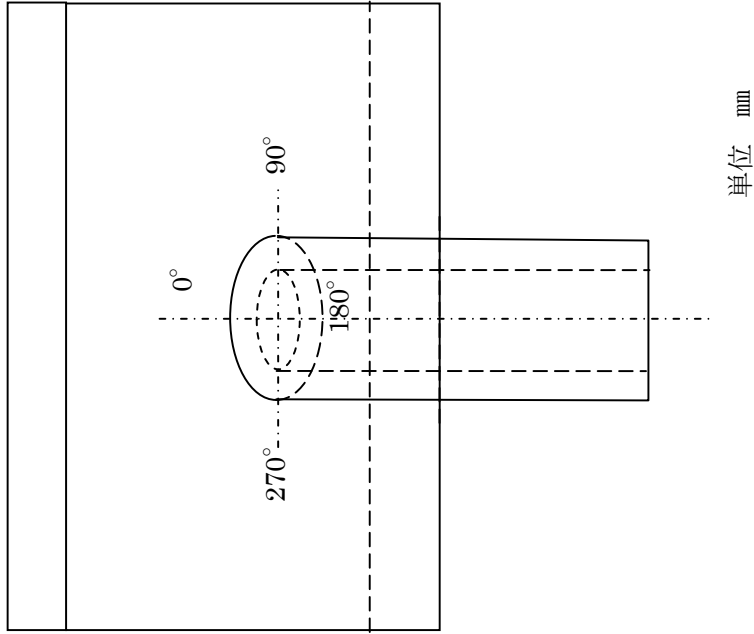
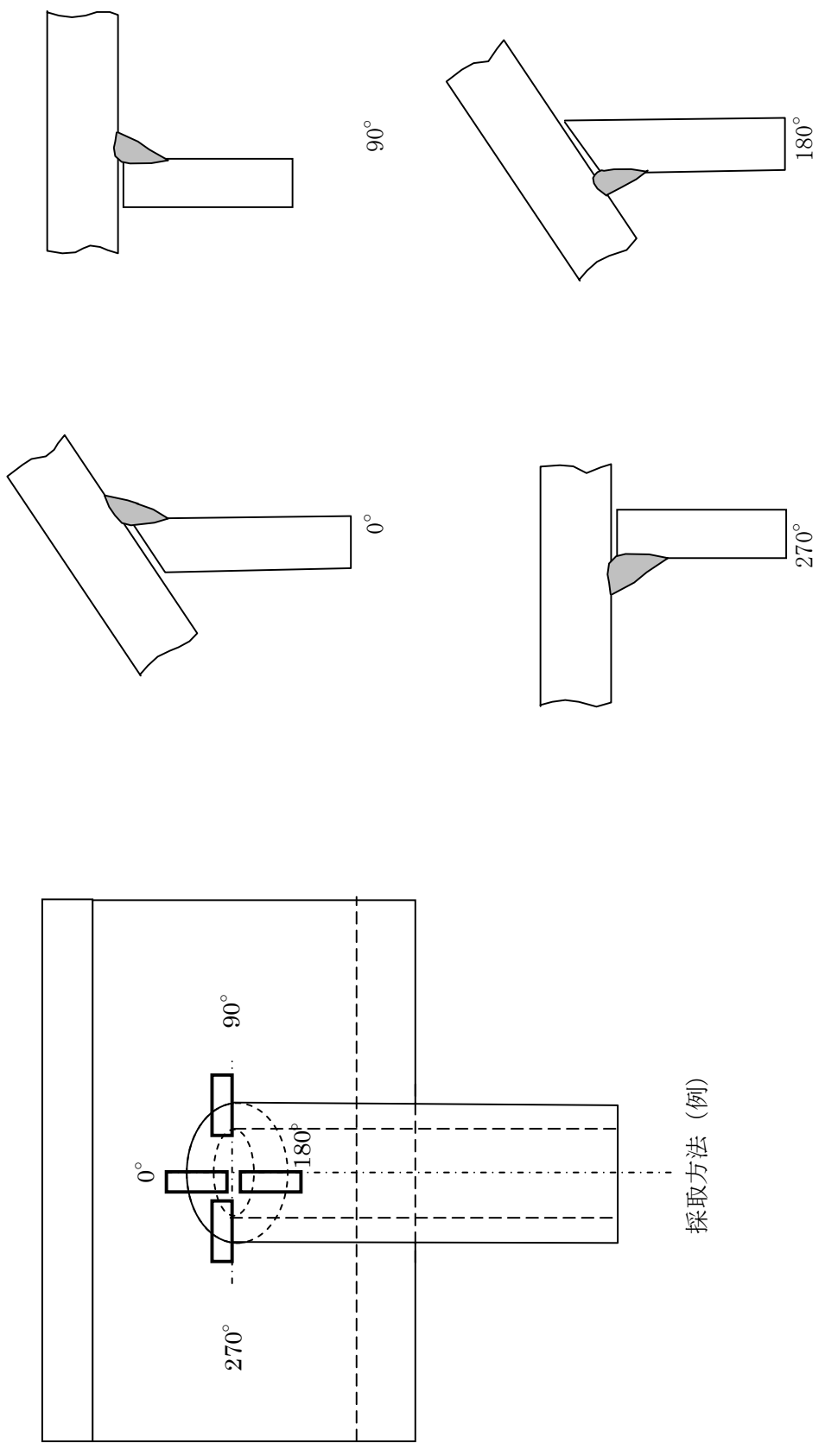


図1 試験材料の形状、寸法





(注) 試験片は 90° 方向で中心線を残し、4 断面が見られるよう加工すること。

図 2 断面検査 試験片形状

容器貫通接合部キャップ補修工法の技術基準への適合性評価結果一覧(第9条第15号)

技術基準を定める省令の規定	省令の解釈での規定	溶接規格及び設計・建設規格の規定	規定適用の当否※	容器貫通接合部キャップ補修工法における適合性	確認		RTTW、確性試験での審議結果 (決定事項)	備考
					RTTW、確性試験	溶接事業者検査		
第九条(材料及び構造)	-	-	-	-	-	-	-	-
十五 クラス1容器、クラス1管、クラス2容器、クラス2管、クラス3容器、クラス3管、クラス4管及び原子炉格納容器のうち主要な溶接部(溶接金属部及び熱影響部をいう。)は、次によること	-	-	-	-	-	-	-	-
イ 不連続で特異な形状でないものであること	<p>第15号イに規定する「不連続で特異な形状でないもの」とは、溶接部の設計において、溶接部の開先等の形状に配慮し、鋭い切り欠き等の不連続で特異な形状でないものをいう。</p> <p>(注) N-1010 溶接部の設計 (PVB-4200)</p>	<p>キャップ構造のすみ肉溶接部の設計について、表面の形状は、鋭い切り欠き等の不連続がなく、なだらかな形状とするよう配慮している。</p> <p>すみ肉溶接そのものは、クラス1容器の加圧器の管台に加圧器用加熱器を取り付ける継手の溶接、およびクラス2容器等で使用されており、「不連続で特異な形状でないもの」にあたる。</p> <p>クラス1容器の溶接部の設計にすみ肉溶接を適用することは、加圧器の管台に加圧器用加熱器を取り付ける継手の溶接以外には規格に例示がないが、すみ肉溶接の形状による応力集中について、すみ肉構造の評価する国プロジェクトの成果を用いて規格の手法より安全側に考慮したうえで、クラス1容器に要求される構造強度が十分確保できるものであることをRTTWで確認し、技術基準(旧省令123号)への適合性を確認している。</p> <p>溶接に関する技術基準の要求はRTTW審議当時と同等であることから、技術基準解釈前文に掲げる「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」と、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。」に照らし、技術基準に適合するものである。</p> <p>溶接事業者検査において、鋭い切り欠き等の不連続がなく、なだらかな形状であること、設計どおりの寸法(脚長)であることを確認する。</p>	○	○	○	<p>溶接の技術基準の解釈に記載のある類似設計等を参考に設計し、継手強度(構造強度)が十分確保できるものであること、適用部位の環境を含め健全な溶接が行えるものであること、技術基準(旧省令123号)に照らして十分な保安水準の確保が達成でき、技術基準に適合することが確認されている。</p> <p>(注)仕様規格の内容に限らず、省令に照らして十分な保安水準の確保が達成でき、技術的根拠により、省令に適合するものと判断</p>		
		N-1060 突合せ溶接による継手面の食遣い	○	<p>キャップの突合せ溶接部は、開先面の食い違いなく設計しており適合する。</p> <p>溶接事業者検査で確認する。</p>	-	○	-	-
		N-1070 厚さの異なる母材の突合せ溶接	-	<p>キャップの突合せ溶接部は厚さの異なる母材の突合せ溶接ではなく、適用外。</p>	-	-	-	-

容器貫通接合部キャップ補修工法の技術基準への適合性評価結果一覧(第9条第15号)

技術基準を定める省令の規定	省令の解釈での規定	溶接規格及び設計・建設規格の規定	規定適用の当否※	容器貫通接合部キャップ補修工法における適合性	確認		RTTW、確信試験での審議結果 (決定事項)	備考
					RTTW、確信試験	溶接事業者検査		
<p>溶接による割れが生ずるおそれなく、かつ、健全な溶接部の確保に有害な溶込み不良その他の欠陥がないこととを非破壊試験により確認したものであること</p>	<p>第15号口に規定する「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がないことに加え、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、「健全な溶接部の確保に有害な溶込み不良その他の欠陥がない」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という。</p> <p>第9条第15号口に規定する「非破壊試験」は、放射線透過試験、超音波探傷試験、磁粉探傷試験、浸透探傷試験、目視試験等をいう。</p>	<p>(注) N-1010 溶接部の設計 (PVB-4200)</p>	○	<p>すみ肉溶接そのものは、適用事例が多くあり、溶込み不良等その他の欠陥が生じやすいものではない。</p> <p>クラス1容器の溶接部の設計にすみ肉溶接を適用することは、加工器の管口に加圧器用加熱器を取り付ける溶接以外には規格に例示がないが、適用部位の環境含め、健全な溶接が行えるものであることをRTTWで確認し、技術基準(旧省令123号)への適合性を確認している。</p>	○	○	<p>モックアップ(断面観察)により、溶込み不足なく施工できることを確認し、継手強度が十分確保できるものであること、適用部位の環境含め健全な溶接が行えるものであることから、技術基準(旧省令123号)に照らして、十分な保安水準の確保が達成でき、技術基準に適合することが確認されている。</p>	<p>(注)仕様規格の内容に限定せず、省令に照らして十分な保安水準の確保が達成でき、技術的観点により、省令に適合するものと判断する。</p>
				<p>溶接に関する技術基準の要求はRTTW審議当時と変更がないことから、技術基準解釈前文に掲げる「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」と、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。」に照らし、技術基準に適合するものである。</p>	-	○	-	
				<p>溶接事業者検査で、RTTWで確認した施工要領に基づく適切な施工が行われていることを確認する。</p>	-	○	-	
				<p>炭素含有量が、0.35%を超えない母材であり、適合する。(オーステナイト系材料は材料の規格上、0.38%を超えない)</p>	-	○	-	
				<p>開先面およびその付近の必要な部分は溶接に先立ち、水分など、その他の有害な異物を除去した上で規定の検査を実施することから適合する。</p>	-	○	-	
<p>N-1040 溶接部の強度等 (2)</p>	<p>RTTW、確信試験で確認された溶接後の非破壊試験を実施し、溶接部の表面及び内部に有害な欠陥のないことを確認する。</p>	○	○	<p>モックアップ(断面観察)により、溶接部の表面及び内部に有害な欠陥のないことを確認している。</p>	○	-	-	
<p>N-1050 クラス1容器の溶接部 (1) (注:非破壊試験実施要求について)</p>	<p>溶接後の非破壊試験として、RTTW、確信試験で確認された試験内容を実施することにより、溶接部の表面及び内部に有害な溶接欠陥がなく、技術基準に適合することを確認できる。</p>	○	○	<p>溶接後の非破壊試験で確認された溶接後の非破壊試験を実施し、溶接部の表面及び内部に有害な欠陥のないことを確認する。</p>	○	○	<p>各溶接部の非破壊試験を下記のとおりとする。 ・キャップと下部鏡の溶接、 ・キャップとリングの溶接、 ・リングと炉内計装部の溶接、 初層(注)、中間層、最終層PT ・キャップの長手溶接:RT+PT ・リングの長手溶接:UT+PT</p>	<p>(注)総合着工、エネルギー調査、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)の審議結果に鑑み、初層PTを追加している。</p>

容器貫通接合部キャップ補修工法の技術基準への適合性評価結果一覧(第9条第15号)

技術基準を定める省令の規定	省令の解釈での規定	溶接規格及び設計・建設規格の規定	規定通用の当否※	容器貫通接合部キャップ補修工法における適合性	確認		RTTW、確性試験での審議結果 (決定事項)	備考
					RTTW、確性試験	溶接事業者検査		
溶接による割れが生ずるおそれなく、かつ、健全な溶接部の確保に有害な溶込み不良その他の欠陥がないこと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がないことに加え、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という。	N-1080 継手の仕上げ	○	キャップの各溶接部では、非破壊検査ができるよう、表面はなめらかに仕上げることから適合する。 なお、RTを実施するキャップの長手溶接については、余盛り高さの制限(1.5mm)に適合するよう加工する。 溶接事業者検査で確認する。	-	○	-	-
		N-1090 溶接後熱処理	-	キャップ工法では、オーステナイト系材料を使用しており溶接後熱処理要求の適用外。	-	-	-	-
適切な強度を有するものであること	第9条第15号ロに規定する「非破壊試験」は、放射線透過試験、超音波探傷試験、磁粉探傷試験、浸透探傷試験、目視試験等をいう。	N-1100 非破壊試験 (注:非破壊試験の方法および判定基準について)	○	非破壊試験を行う場合は、RTTW、確性試験で確認された試験を行うこととから適合する。 溶接事業者検査で確認する。	○	○	各非破壊検査の適用性を、机上検討又はモックアップ試験により確認している。	-
		N-1040 溶接部の強度等(1)	○	RTTW、確性試験の継手性能試験結果から、母材と同等以上の機械的強度を有する溶接部とすることができるところから適合する。 適切な溶接施工がなされていることを、溶接事業者検査で確認する。	○	○	継手性能試験により母材と同等以上の機械的強度を有することを確認している。	-
ハ 適切な強度を有するものであること	第15号ハに規定する「適切な強度を有する」とは、母材と同等以上の機械的強度を有するものであることという。	N-1050 グラス1溶接部 (2)機械試験	○	対象となる突合せ溶接部(キャップ、リングの長手溶接部)は規定どおり機械試験用の試験板を製作し、判定基準を満足することを溶接事業者検査で確認する。	-	○	-	-
		N-1110 機械試験	○	対象となる突合せ溶接部(キャップ、リングの長手溶接部)は規定どおり機械試験を行い(継手引張試験、型曲げ試験)判定基準を満足することを溶接事業者検査で確認する。	-	○	-	-
		N-1120 再試験	○	再試験を実施する場合は規定どおり実施することから適合する。 溶接事業者検査で確認する。	-	○	-	-
		N-1130 耐圧試験	○	実機の耐圧試験で確認を行うことから、適合する。 溶接事業者検査で確認する。	-	○	-	-

容器貫通接合部キャップ補修工法の技術基準への適合性評価結果一覧(第9条第15号)

技術基準を定める省令の規定	省令の解釈での規定	溶接規格及び設計・建設規格の規定	規定通用の当否※	容器貫通接合部キャップ補修工法における適合性	確認		RTTW、確性試験での審議結果 (決定事項)	備考
					RTTW、確性試験	溶接事業者検査		
機械試験等により適切な溶接施工法等であることをあらかじめ確認したものにより溶接したもの、溶接施工法、溶接設備及び溶接士技能について適切であることをあらかじめ確認したものにより溶接したものによること	第15号に規定する「適切な溶接施工法等」とは、溶接施工法、溶接設備及び溶接士技能について適切であることをあらかじめ確認したものによる溶接施工等による溶接施工について、機械試験等により確認するものとする。	N-0030 溶接施工法 第2部 溶接施工法 認証標準	○	規定どおり認証された、あらかじめ技術基準への適合性を確認した溶接施工法を適用することから適合する。 溶接事業者検査で確認する。	-	○	-	-
		N-0040 溶接設備	○	キャップ補修工法で用いるディグ溶接に適した設備を用いていることを溶接事業者検査で確認する。	-	○	-	-
		N-0050 溶接士 第3部 溶接士技能 認証標準	○	規定どおり認証され、かつ資格が有効期限内にある溶接士が作業することから適合する。 溶接事業者検査で確認する。	-	○	-	-

※: 溶接規格または設計・建設規格の対象かどうかを記載。  
○は対象、-は対象外。