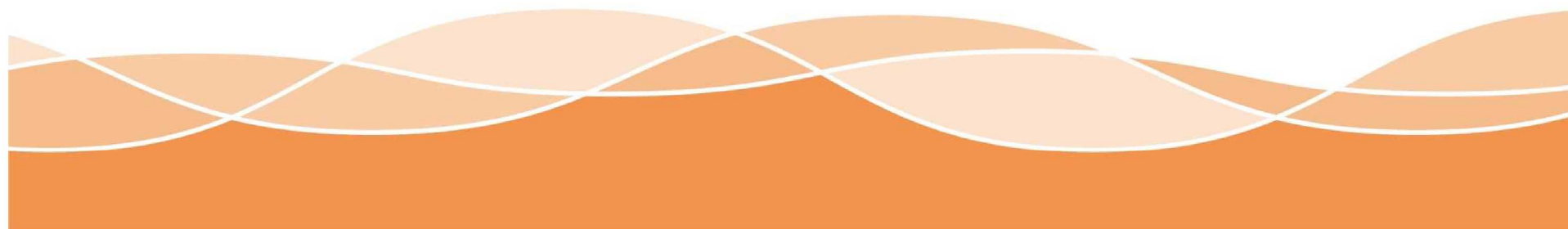


大飯4号機 加圧器スプレイ配管の取替工事の概要について

関西電力 大飯発電所
2021年8月



ご説明内容

大飯4号機 加圧器スプレイ配管の取替工事を実施するため、設計及び工事計画認可申請の説明を以下のとおり実施する。

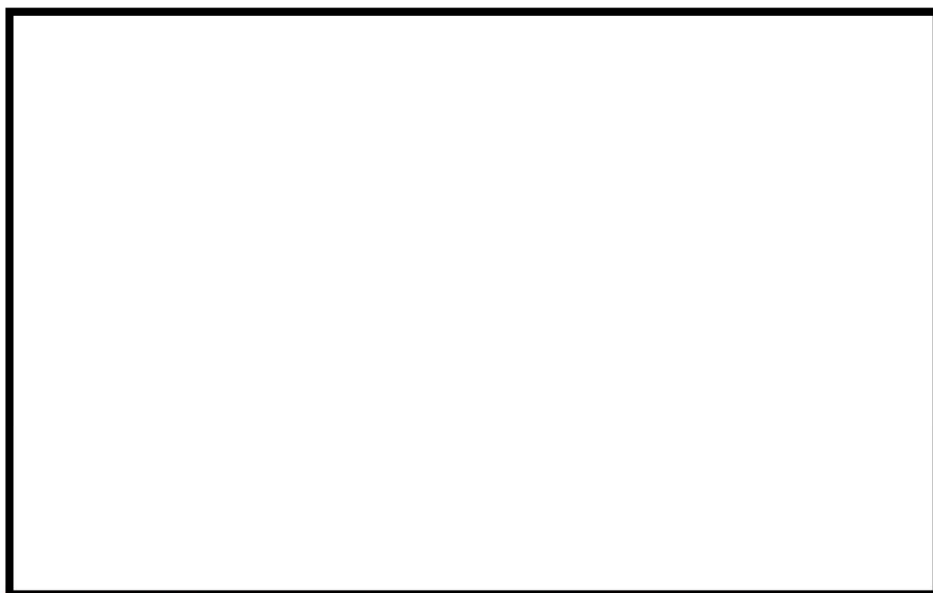
NO	説明項目	ページ番号
1	工事理由	1
2	工事内容	1
3	設計及び工事計画認可申請の手続き	4
4	設計及び工事計画認可申請の内容	5
5	工事工程	8

1. 工事理由

- 国内BWRプラントの原子炉冷却系統施設配管において、配管加工時に生じる硬化層を起因とした応力腐食割れが発生している。
- PWRプラントは1次冷却材の酸素濃度を低く管理（保安規定にて基準値0.1ppm以下にあることを確認）しており、大飯発電所4号機では、現在までのところBWRプラントと同様の応力腐食割れによる損傷は発生していない。
- しかしながら、原子炉冷却系統施設配管においては、製造過程で芯金を用いた曲げ加工を行うことで生じる硬化層を有する曲げ管を使用している部位があるため、自主的な安全対策として、芯金を用いずに製作した硬化層が形成されない曲げ管へ取替えるとともに、弁や管継手についても、配管と一括して取替える。
- また、大飯3号機加圧器スプレイ配管の1次冷却材管台と管継手（エルボ部）の溶接部に有意な指示が認められたことに鑑みて、自主的な安全対策として、1次冷却材管台と管継手の溶接部についても取替える。

2. 工事内容

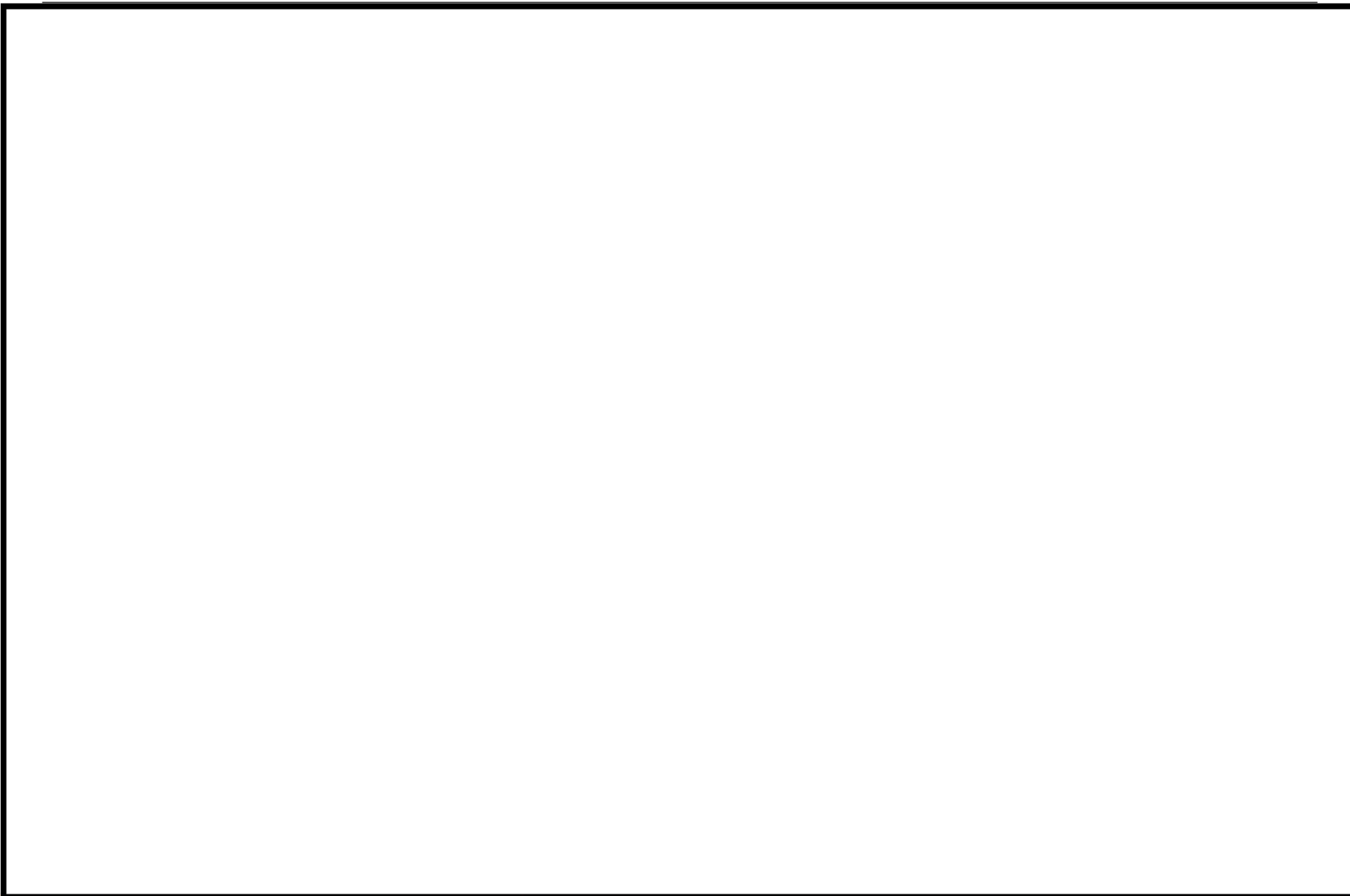
- 下記に示す部位において、同材（SUS316）へ取替える。



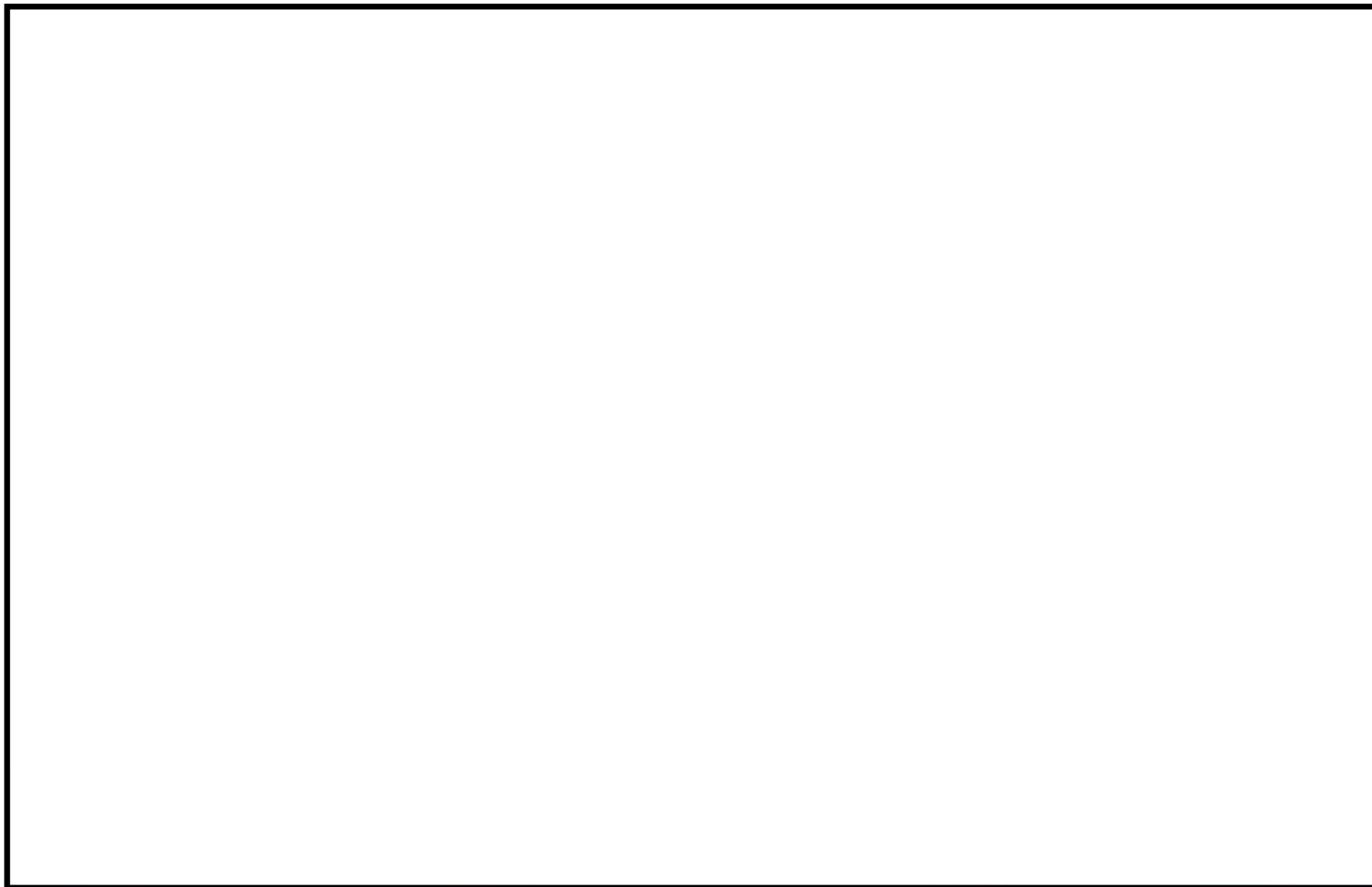
該当箇所	工事内容	工事理由
	曲げ管、管継手の取替え	応力腐食割れによる対応
	配管、T継手、逆止弁の取替え	現地施工性を踏まえた対応
	T継手の取替え (4B×2B異径T→4B×4B同径T)	発生応力低減による対応
	レジューサの設置	上記の同径Tへの変更による対応
	溶接部の取替	O3加圧器スプレイ配管溶接部での事象を踏まえた対応

: 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

大飯4号機 加圧器スプレイ配管の取替工事の概要



 : 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



 : 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 設計及び工事計画認可申請の手続き

本工事の申請にあたっては、**要目表（主要寸法）及び適用規格（JSME材料規格2012年版他）の変更**があることから、必要な手続きは以下のとおりである。

➤ 炉規制法に基づく工事計画の手続き

炉規則 別表1中欄の「**一次冷却材の循環設備に係るもの**」、「**化学体積制御設備に係るもの**」、「**原子炉冷却系統施設の基本設計方針、適用基準又は適用規格の変更を伴うもの**」の改造に該当することから、**工事計画の認可申請**を行う。

➤ 電事法に基づく工事計画の手続き

保安に関する命令 別表1中欄の「**一次冷却材の循環設備に係るもの**」、「**化学体積制御設備に係るもの**」の改造に該当することから、**工事計画の認可申請**を行う。

要目表（抜粋）

原子炉冷却系統施設

加圧水型発電用原子炉施設に係るもの（蒸気タービンに係るものを除く。）にあつては、次の事項

4 一次冷却材の循環設備に係る次の事項

(7) 主配管の名称、最高使用圧力、最高使用温度、外径、厚さ及び材料

名称	変更前			変更後							
	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
一次冷却材の循環設備 ループ低温側 1次冷却材管 分岐点 及び 弁4V-CS-171 ～ 加圧器	17.16	343	(注1) 60.5	(注1) 8.7	SUS316TP	変更なし	変更なし	変更なし	同左		
			(注1) 114.3	(注1,2) 13.5	SUS316TP				変更なし		
			-	-	-				(注2) 同左	(注2) 同左	(注2) 同左
								(注1) 114.3	(注1) 13.5		
								60.5	8.7		SUS316TP

基本設計方針、適用基準及び適用規格（抜粋）

変更前	変更後
・発電用原子炉設備における破損を引き起こすき裂その他の欠陥の解釈について	・発電用原子炉設備における破損を引き起こすき裂その他の欠陥の解釈について
・液状化対策工法（地盤工学会、2004年） ^(注3)	・液状化対策工法（地盤工学会、2004年）
・電気規格調査会標準規格 JEC-2130(2000)構造—般事項 ^(注3)	・電気規格調査会標準規格 JEC-2130(2000)構造—般事項
・ドイツ工業 (DIN) 規格	・ドイツ工業 (DIN) 規格
・DIN1693 CAST IRON	・DIN1693 CAST IRON
・道路橋示方書・同解説（I共通編、IV下部構造編）（日本道路協会、平成14年3月） ^(注3)	・道路橋示方書・同解説（I共通編、IV下部構造編）（日本道路協会、平成14年3月）
・日本機械学会「発電用原子炉設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（2003年版）（JSME S NE1-2003）」 ^(注3)	・日本機械学会「発電用原子炉設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（2003年版）（JSME S NE1-2003）」
・日本機械学会「発電用原子炉設備規格 設計・建設規格（2012年版）（第1編 軽水炉規格）（JSME S NC1-2012）」 ^(注3)	・日本機械学会「発電用原子炉設備規格 設計・建設規格（2012年版）（第1編 軽水炉規格）（JSME S NC1-2012）」
	・日本機械学会「発電用原子炉設備規格 材料規格（2012年版）（JSME S NJ1-2012）」

4. 設計及び工事計画認可申請の内容

加圧器スプレイ配管の取替工事（原子炉冷却系統施設のうち一次冷却材の循環設備及び化学体積制御設備）に係る設計及び工事計画認可申請にあたり、「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」（以下「技術基準」という。）の条文について整理すると共に、適合性の確認が必要となる条文を整理した。

<①適用条文であり、今回の申請で適合性を確認する必要がある条文>

技術基準規則	理由
第5条 地震による損傷の防止	本設備は、設計基準対象施設であることから、適用条文となる。また、変更を行う設備が耐震性に影響がないことを確認する必要があるため、 変更の工事の内容（本申請内容）に関連し、審査対象条文 である。加えて、耐震性の評価におけるJSME材料規格2012年版の適用は、変更の工事の内容（本申請内容）に関連する。
第14条 安全設備	本設備は、安全設備であることから、適用条文となる。また、変更を行う設備が 通常運転時、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故時において、必要な機能が発揮できることを確認 する必要があるため、変更の工事の内容（本申請内容）に関連し、審査対象条文である。
第15条 設計基準対象施設の機能	本設備は、設計基準対象施設であることから、適用条文となる。また、 変更を行う設備が設計基準対象施設としての機能を有することを確認 する必要があるため、変更の工事の内容（本申請内容）に関連し、審査対象条文である。加えて、 試験・検査性におけるJSME溶接規格2012/2013年版、JSME維持規格2012/2013/2014年版の適用 は、変更の工事の内容（本申請内容）に関連する。
第17条 材料及び構造	本設備は、クラス1 機器であることから、適用条文となる。また、 変更を行う設備が材料及び構造を有することを確認する必要があるため、変更の工事の内容（本申請内容）に関連し、審査対象条文 である。加えて、 材料及び構造の評価におけるJSME材料規格2012年版、JSME溶接規格2012/2013年版、JSME維持規格2012/2013/2014年版の適用 は、変更の工事の内容（本申請内容）に関連する。
第19条 流体振動等による損傷の防止	本設備は、一次冷却系統に係る管であることから、適用条文となる。また、 流体振動等による損傷の防止については、変更を行う設備が流体振動又は温度差のある流体の混合等により生ずる温度変動により損傷を受けない設計として いることを確認する必要があるため、変更の工事の内容（本申請内容）に関連し、審査対象条文である。
第27条 原子炉冷却材圧力バウンダリ	本設備は、原子炉冷却材圧力バウンダリであることから、適用条文となる。また、 原子炉冷却材圧力バウンダリについて、変更を行う設備が一次冷却系統に係る発電用原子炉施設の損壊その他の異常に伴う衝撃等に耐えるように設計して いることを確認する必要があるため、変更の工事の内容（本申請内容）に関連し、審査対象条文である。
第28条 原子炉冷却材圧力バウンダリの隔離装置等	本設備は、原子炉冷却材圧力バウンダリの隔離装置が含まれることから、適用条文となる。また、 隔離装置について、変更を行う設備が本条文にて要求される機能を発揮することができる設計である ことを確認する必要があるため、変更の工事の内容（本申請内容）に関連し、審査対象条文である。
第33条 循環設備等	本設備は、循環設備等であることから、適用条文となる。また、 循環設備等について、変更を行う設備が本条文にて要求される機能を発揮することができる設計である ことを確認する必要があるため、変更の工事の内容（本申請内容）に関連し、審査対象条文である。

大飯4号機 加圧器スプレイ配管の取替工事の概要

6

<②適用条文であるが、既に適合性が確認されている条文、又は工事計画に係る内容に影響を受けないことが明確に確認できる条文>

技術基準規則	理由
第4条 設計基準対象施設の地盤	本設備は、設計基準対象施設であることから、適用条文となる。また、設計基準対象施設の地盤については、平成29年8月25日付け原規規発第1708255号にて認可の工事計画（以下、「既工事計画」という）において適合性が確認されており、本工事において、本設備の設置地盤を変更する、また影響を与える工事ではなく、既工事計画の設計内容に変更はないため、審査対象条文とならない。
第6条 津波による損傷の防止	本設備は、設計基準対象施設であることから、適用条文となる。また、津波による損傷の防止については、既工事計画において適合性が確認されており、本工事において既工事計画から設計内容に変更はなく、津波による損傷の防止に係る設計は変更の工事の内容（本申請内容）に関係しないため、審査対象条文とならない。
第7条 外部からの衝撃による損傷の防止	本設備は、設計基準対象施設であることから、適用条文となる。また、外部からの衝撃による損傷の防止については、既工事計画において適合性が確認されており、本工事において既工事計画から設計内容に変更はなく、外部からの衝撃による損傷の防止に係る設計は変更の工事の内容（本申請内容）に関係しないため、審査対象条文とならない。
第8条 立ち入りの防止	工場等に係る要求であることから、適用条文となる。また、立ち入りの防止については、工場、事業所（発電所）に対する要求であり、既工事計画において適合性が確認されていることから、本工事は、立ち入りの防止に関係しないため、既工事計画から設計内容に変更はなく、審査対象条文とならない。
第9条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	工場等に係る要求であることから、適用条文となる。また、発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止については、工場、事業所（発電所）に対する要求であり、既工事計画において適合性が確認されていることから、本工事は、発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止に関係しないため、既工事計画から設計内容に変更はなく、審査対象条文とならない。
第11条 火災による損傷の防止	本設備は、設計基準対象施設であることから、適用条文となる。また、火災による損傷の防止については、既工事計画において適合性が確認されており、本工事は不燃材であるステンレス鋼を使用することから、既工事計画の設計内容に変更はなく、火災による損傷の防止に係る設計は変更の工事の内容（本申請内容）に関係しないため、審査対象条文とならない。
第12条 発電用原子炉施設内における溢水等による損傷の防止	本設備は、設計基準対象施設であることから、適用条文となる。また、溢水による損傷の防止については、既工事計画において適合性が確認されており、当該配管の設置エリアは溢水防護区画ではなく、本工事においても配管ルートの変更及び設置場所の変更がないことから、既工事計画から設計内容に変更はなく、溢水による損傷の防止に係る設計は変更の工事の内容（本申請内容）に関係しないため、審査対象条文とならない。
第13条 安全避難通路等	本設備は、発電用原子炉施設であることから、適用条文となる。また、安全避難通路等については、既工事計画において適合性が確認されており、既工事計画から設計内容に変更はなく、安全避難通路等に係る設計は変更の工事の内容（本申請内容）に関係しないため、審査対象条文とならない。
第18条 使用中の亀裂等による破壊の防止	本設備は、クラス1機器であることから、適用条文となる。また、使用中の亀裂等による破壊の防止について、変更を行う設備はクラス機器であり適用条文であるが、維持段階での要求であるため、審査対象条文とならない。
第21条 耐圧試験等	本設備は、クラス1機器であることから、適用条文となる。また、耐圧試験等について、変更を行う設備はクラス機器であり適用条文であるが、使用前検査段階での要求であることから、審査対象条文とならない。

<③適用を受けない条文>

①、②以外の条文

大飯4号機 加圧器スプレイ配管の取替工事の概要

申請設備に対して技術基準の要求事項を抽出するとともに、技術基準適合性の説明に必要な添付資料を整理した。

資料名		資料の概要
本文	原子炉冷却系統施設（要目表）	・配管取替に伴い 主要寸法（外径・厚み）に変更がある。 （ソケット溶接から突合わせ溶接に変更、逆止め弁の取替等）
	基本設計方針	・ 基本設計方針に変更はない。 （記載の適正化：日本産業規格）
	適用基準及び適用規格	・ JSME規格の適用年度に変更がある。 （材料規格（2012）、維持規格（2012/2013/2014）を適用）
	工事の方法	・工事の手順や使用前事業者検査の項目及び方法等を説明するものであり、設備固有なものではないことから、 既工認と同じ内容 である。
	設計及び工事に係る品質マネジメントシステム	・品質マネジメントシステム計画に基づき、設計及び工事に係る具体的な品質管理の方法、組織などの計画された事項を示すものであり、 設備固有なものではない ことから、 既工認と同じ内容 である。
添付資料	資料1：発電用原子炉の設置の許可との整合性に関する説明書	・本文（五号）と設備別記載事項（要目表）・基本設計方針の整合を説明するものであり、設置許可申請書に本申請に係る記載がなく、今回の工事計画において詳細設計を行うことから、申請に係る内容は設置許可申請書に抵触するものではないことから、 既工認と同じ内容 である。 ・本文（十一号）と品質管理に必要な体制の整備についての整合を説明するものであり、 至近工認の内容から変更はない。
	資料2：設備別記載事項の設定根拠に関する説明書	・申請範囲の仕様（最高使用圧力・温度、外径）の設定根拠を説明するものであり、本申請で要目表に変更はあるが主要寸法の変更のみであり、要求される機能に変更がなく、設計条件に変更はないことから、 既工認と同じ内容 である。
	資料3：クラス1機器の応力腐食割れ対策に関する説明書	・技術基準規則17条（材料及び構造）に基づく応力腐食割れ対策の説明（応力腐食割れの発生の抑制を考慮した設計となっていることを説明）するものであり、 硬化層に起因した応力腐食割れの発生対策として、シンニング部内表面の硬度上昇を抑制する加工法及び引張残留応力を改善する手法を記載している。認可実績があるものである。
	資料4：安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書	・技術基準規則14条（安全設備）、15条（設計基準対象施設の機能）に基づく健全性を説明（悪影響防止、環境条件等、試験・検査性）するものであり、要目表に変更はあるが健全性に係る基本方針に変更がないことから、 既工認と同じ内容 である。
	資料5：耐震性に関する説明書	・技術基準規則5条（地震による損傷の防止）に基づく適合性を説明（原子炉格納容器貫通部が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることなど）するものであり、 既工認からJSME規格の変更に伴う入力値の変更があるが、認可実績があるものである。
	資料6：強度に関する説明書	・技術基準規則17条（材料及び構造）に基づく適合性を説明（材料及び構造について、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有していること）するものであり、 既工認からJSME規格の変更に伴う入力値の変更があるが、認可実績があるものである。
	資料7：流体振動又は温度変動による損傷の防止に関する説明書	・技術基準規則19条（流体振動等による損傷防止）に基づく流体振動又は温度変動による損傷の防止について説明（流体振動又は温度変動による損傷を受けない設計となっていることの説明であり、 要目表の変更はあるが評価対象となる配管内円柱状構造物や閉塞分岐管滞留部を設けず、評価不要である ことから、 既工認と同じ内容 である。
	資料8：設計及び工事に係る品質マネジメントに関する説明書	・設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績又は行おうとしている管理の計画、並びに、工事及び検査に係る品質管理の方法、組織等についての具体的な計画を説明するものであり、 設備固有なものではない ことから、 既工認と同じ内容 である。また、「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」に基づく設計に係るプロセスの実績、工事及び検査に係るプロセスの計画について説明するものであり、 設備固有なものではない ことから、 既工認と同じ内容 である。
添付図面	配置図・系統図	技術基準規則33条（循環設備等）に基づく設備のうち 申請範囲に該当する配置図・系統図を添付する。

5. 工事工程

➤ 大飯4号機 第18回定期検査にて配管を取替える。

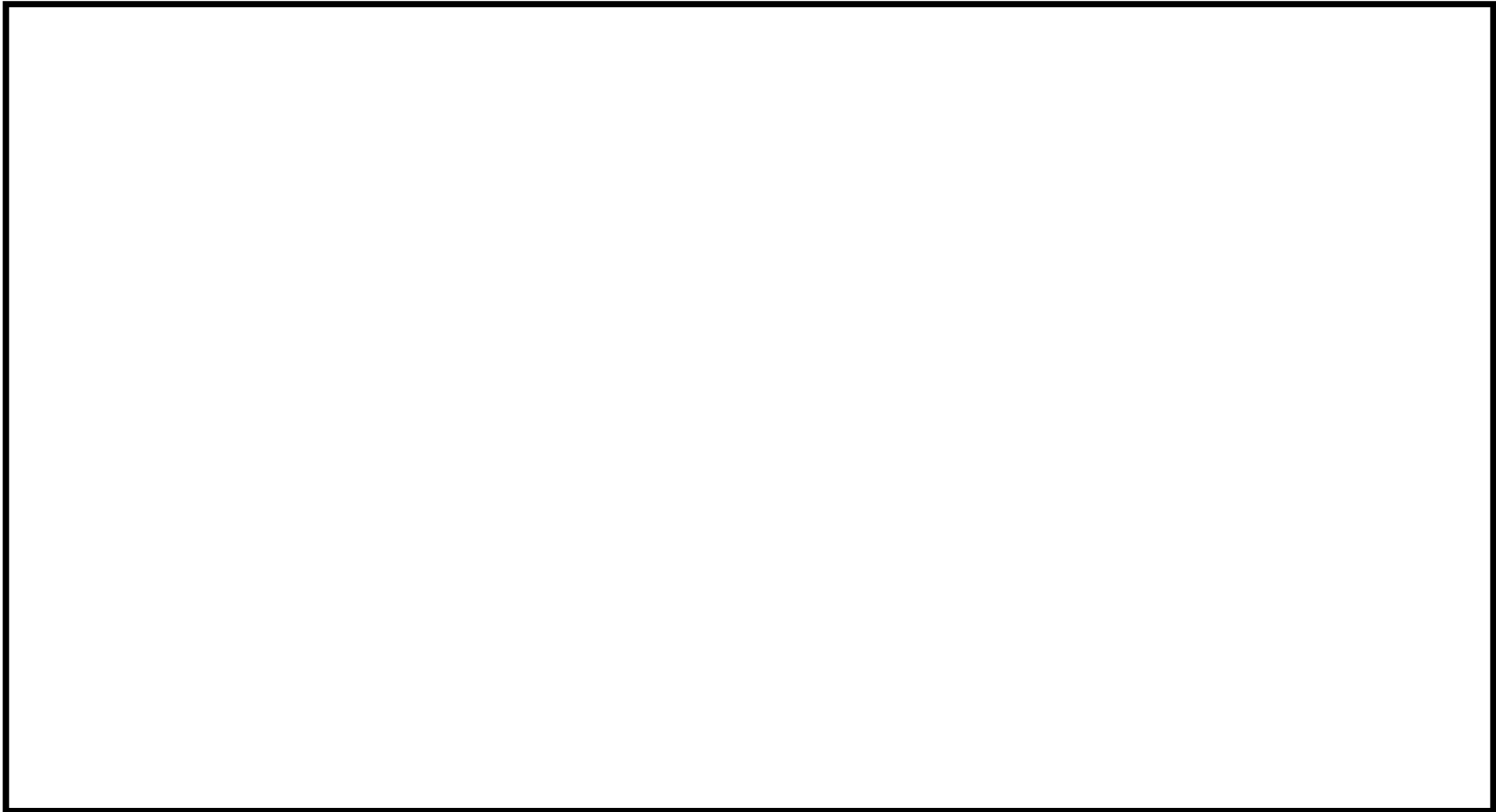
4号機	2021年					2022年						
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
工事計画認可申請	[申請期間]											
製作・検査				[製作・検査期間]								
現地取替・検査								[現地取替・検査期間]				

参考

大飯4号機 加圧器スプレイ配管の取替工事の概要

参考1

<芯金を使用しない曲げ加工の概要>



日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME S NC1-2001）及び（JSME S NC1-2005）
【事例規格】発電用原子力設備における「応力腐食割れ発生の抑制に対する考慮」（NC-CC-002）」によると、
応力腐食割れ発生の3要因（材料・応力・環境）のうち、応力に分類

: 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

大飯4号機 加圧器スプレイ配管の取替工事の概要

参考2

<芯金を使用しない曲げ加工の実績>

プラント	年次	ライン名称
美浜3号機	#25定検、2011年	加圧器スプレイライン
高浜1号機	#26定検、2009年	SIS注入ライン(RCPB)
高浜2号機	#25定検、2009年	SIS注入ライン(RCPB)
	#27定検、2011年	加圧器スプレイライン
高浜3号機	#19定検、2009年	加圧器スプレイライン
	#20定検、2010年	加圧器スプレイライン
	#21定検、2016年	充てんライン(RCPB)、抽出ライン(RCPB)
高浜4号機	#19定検、2010年	加圧器スプレイライン、充てんライン(RCPB)、抽出ライン(RCPB)
	#20定検、2016年	加圧器スプレイライン、SIS注入ライン(RCPB)
大飯3号機	#13定検、2008年	加圧器スプレイライン
	#14定検、2009年	充てんライン(RCPB)、抽出ライン(RCPB)、SIS注入ライン(RCPB)
大飯4号機	#13定検、2010年	充てんライン(RCPB)、抽出ライン(RCPB)、SIS注入ライン(RCPB)
	#14定検、2011年	加圧器スプレイライン

大飯4号機 加圧器スプレイ配管の取替工事の概要

参考3

<法令関係>

実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則 別表第一(抜粋)

工事の種類	認可を要するもの	事前届出を要するもの
二 変更の工事		
(二) 発電用原子炉の基数の増加の工事以外の変更の工事であって、次の発電用原子炉施設に係るもの		
3 原子炉冷却系統施設	<p>...</p> <p>2 加圧水型発電用原子炉施設に係るものの改造(蒸気タービンに係るものの改造を除く。)であって、次に掲げるもの</p> <p>...</p> <p>(5)一次冷却材の循環設備に係るもの</p> <p>...</p> <p>(9)化学体積制御設備に係るもの</p> <p>...</p> <p>(11) 原子炉冷却系統施設(蒸気タービンを除く。)の基本設計方針、適用基準又は適用規格の変更を伴うもの</p> <p>...</p>	<p>...</p> <p>3 加圧水型発電用原子炉施設に係るものの改造(蒸気タービンに係るものの改造及び中欄に掲げるものを除く。)であって、原子炉補機冷却設備(主要弁を除く。)又は原子炉格納容器内の一次冷却材の漏えいを監視する装置に係るもの</p> <p>4 加圧水型発電用原子炉施設に係るものの修理(蒸気タービンに係るものの修理を除く。)であって、次に掲げるもの</p> <p>(1) 一次冷却材の循環設備、余熱除去設備(原子炉冷却材圧力バウンダリに係るものに限る。)、非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備(原子炉冷却材圧力バウンダリに係るものに限る。)又は化学体積制御設備(原子炉冷却材圧力バウンダリに係るものに限る。)に係るものの取替え</p> <p>(2) 一次冷却材の循環設備、主蒸気・主給水設備、余熱除去設備、非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備、化学体積制御設備又は原子炉補機冷却設備(非常用のものに限る。)に係るものの性能又は強度に影響を及ぼすもの</p> <p>...</p>

発電用原子炉施設の工事計画に係る手続きガイドの制定について(抜粋)

2. 設計及び工事の計画の認可及び届出手続の範囲

(1) 工事の種類

3) 発電用原子炉の基数の増加の工事以外の変更の工事

C. 改造

機器等の主要仕様表(以下「要目表」という。)の記載を変更し、機器等を新たなものへ変更する工事の他、機器等の実物の変更を伴わない容量の変更及び号機間での機器等の共用化を行うもの並びに既に設置されている機器の撤去又は台数及び容量を変更する工事も改造の工事とみなす。また、「基本設計方針、適用基準又は適用規格(以下「基本設計方針等」という。)の変更」についても規則別表第1中欄において改造として認可対象としており、機器等の実物の変更を伴わない場合でも、新たな基準等に対応するために基本設計方針等の記載事項を変更する必要がある場合は、認可手続が必要となる。その場合には、新たな基本設計方針等に基づく機器等として取扱いを決定する手続を工事とみなすこととする。同様に、「工事の方法の変更」についても規則別表第1中欄において改造として認可対象としており、要目表の記載に変更のない工事であっても、工事の方法が既に認可を受けたものと異なる場合には、認可手続が必要となる。なお、機器等の仕様の変更については、発電用原子炉施設の主要な設備又は機器についての改造について認可の対象とし、その他の改造について届出の対象としている。

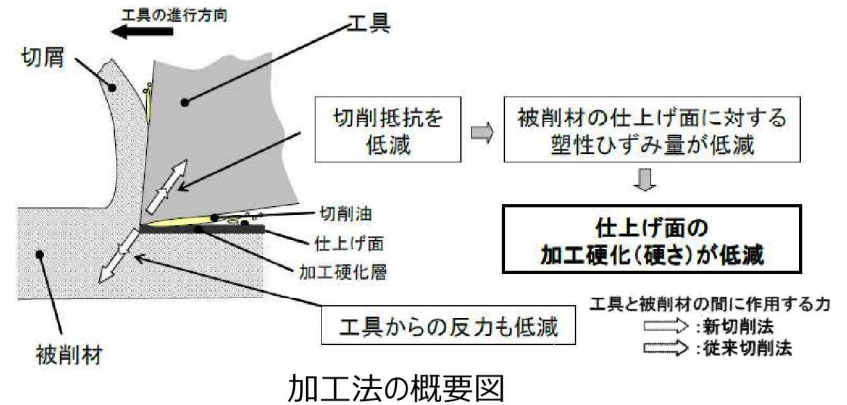
大飯4号機 加圧器スプレイ配管の取替工事の概要

参考4

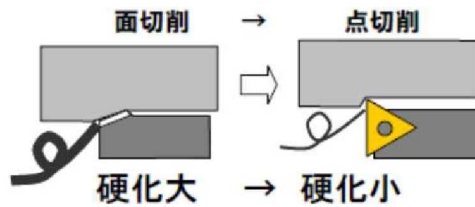
配管取替えにあたっては、過大な初層溶接入熱とならない全層Tig溶接を採用し、表層の硬化による応力腐食割れの発生防止のために、今回の工事範囲のうち溶接による有意な硬化のおそれがある範囲においては、配管内表面の機械加工として加工硬化の低減を図る加工方法を用いるとともに、配管内表面の機械加工として加工硬化の低減を図る加工方法を適用できない部分については、引張残留応力の改善を図るバフ研磨を行う。

＜加工硬化の低減を図る加工方法の概要＞

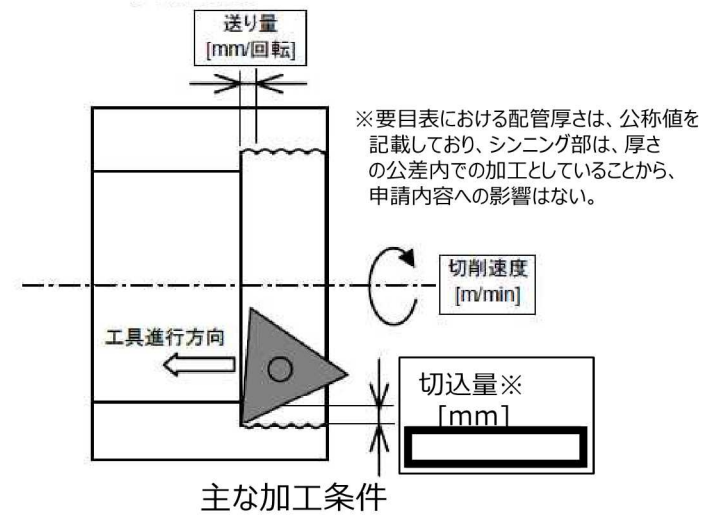
- ① 今回の工事範囲において、配管内表面の機械加工として加工硬化の低減を図る加工方法を用いる。
 - シンニング部硬度上昇の要因は、機械加工に伴う塑性ひずみの生成である。この塑性ひずみ量を低減することにより、硬さの上昇は抑えられる。
 - 塑性ひずみは、切削抵抗を抑えることにより低減できるため、加工に用いる工具や加工条件を最適化することにより、硬度上昇の抑制が可能である。
 - 加工硬化の低減を図る加工方法（硬くなり難い加工法）では、バイト加工ではなく切削チップによる加工を採用すると共に、主な加工条件（切削速度、送り量、切込量）を調整し、切削抵抗を抑えて加工硬化の低減を図っている。
 - 本加工法が開発された2010年以降の配管改造工事に採用されている加工法である。



加工法の概要図



切削工具の選定



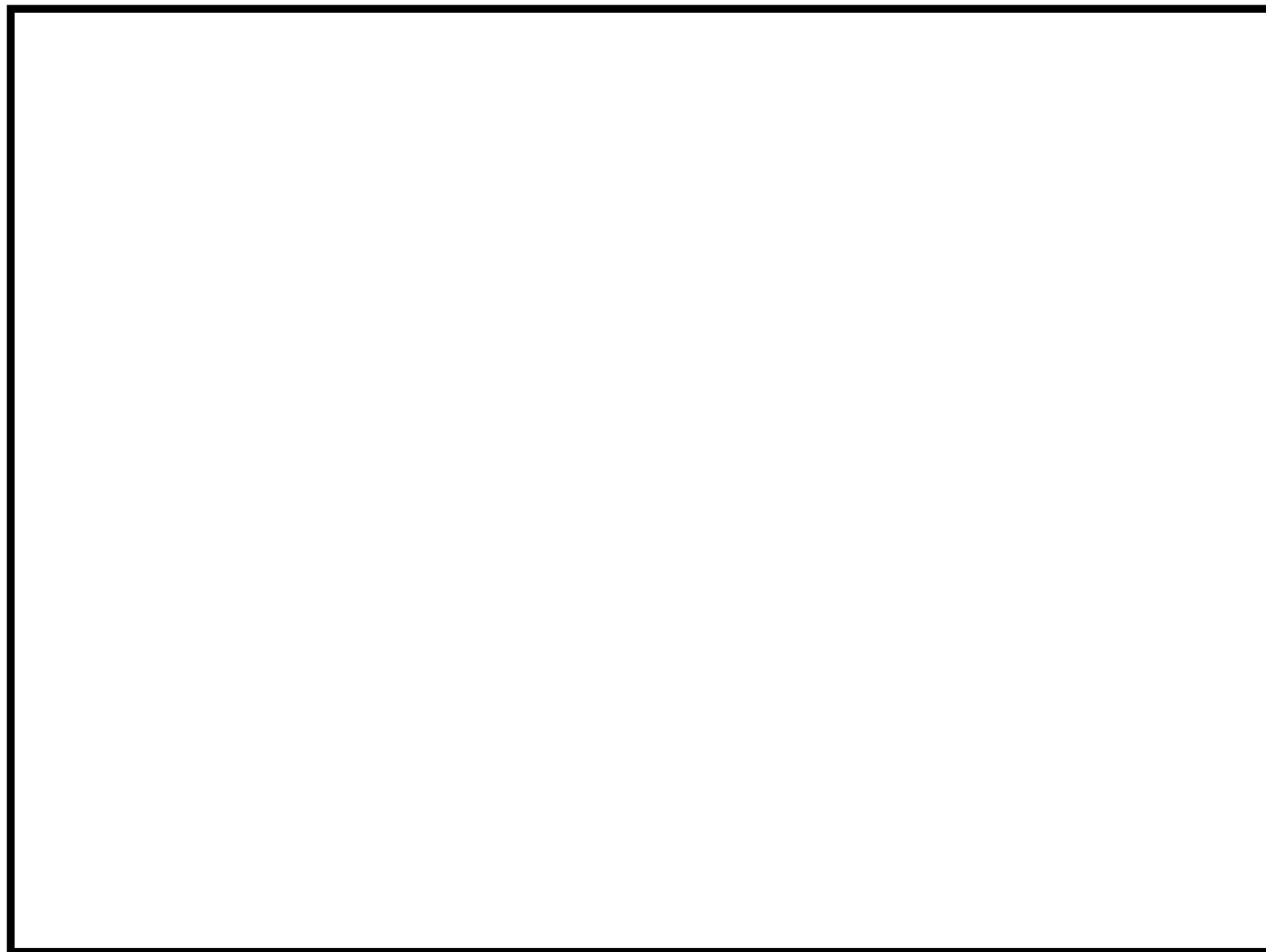
主な加工条件


: 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

大飯4号機 加圧器スプレイ配管の取替工事の概要

参考5

- ② 今回の工事範囲において、加工硬化の低減を図る加工方法を適用できない部分については、引張残留応力の改善を図るバフ研磨を行う。
- シンニング部の機械加工により発生する表層の引張残留応力を改善する手法を用いる。
 - 表層の引張残留応力を改善する手法では、以下に示す指定の加工工具・施工要領によるバフ研磨により表層の引張残留応力が圧縮側へ改善される。なお、本手法が開発された2010年以降の配管改造工事に採用されている手法である。



: 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(大飯3号機 加圧器スプレイ配管取替工事設工認11月12日審査会合資料 抜粋)

大飯4号機 加圧器スプレイ配管の取替工事の概要

参考6

<適用規格、適用基準の変更(適用年度の変更)に伴う評価の変更内容>

- 耐震・強度評価について、既工認では、JSME設計・建設規格2005/2007年版、本申請ではJSME設計・建設規格2012年版での評価を実施した。
- 既工認と本申請の評価内容の差異は、下表のとおりであり、評価条件変更に伴う評価結果について、影響はないことを確認した。

工認資料名	既工認 (JSME設計・建設規格2005/2007年版)	本申請 (JSME設計・建設規格2012年版)	規格変更に伴う評価結果への影響
耐震性に関する説明書	<p><評価条件></p> <ul style="list-style-type: none"> ボルト材の応力評価に呼び径を採用 [例]Uボルト：<input type="text"/> ボルト材の許容引張応力：$ft=F/2$を採用 縦弾性係数：<input type="text"/> 熱膨張係数：<input type="text"/> 設計応力強さ(Sm)：114(<u>114.8</u>)MPa <p><Ss評価結果> 発生値/許容値</p> <ul style="list-style-type: none"> ボルト <ul style="list-style-type: none"> 引張応力 <u>27MPa/84MPa</u> せん断応力 <u>23MPa/65MPa</u> 組合せ応力 <u>62MPa/118MPa</u> 配管 <ul style="list-style-type: none"> 一次+二次応力 <u>705MPa/344MPa</u> (簡易弾塑性解析 <u>398MPa/4881MPa</u>) 疲労累積係数 <u>0.40424/1.0</u> 	<p><評価条件></p> <ul style="list-style-type: none"> ボルト材の応力評価に軸部断面積の75%を採用 [例]Uボルト：<input type="text"/> ボルト材の許容引張応力：$ft=F/1.5$を採用 縦弾性係数：<input type="text"/> 熱膨張係数：<input type="text"/> 設計応力強さ(Sm)：114(<u>114.5</u>)MPa <p><Ss評価結果> 発生値/許容値</p> <ul style="list-style-type: none"> ボルト <ul style="list-style-type: none"> 引張応力 <u>36MPa/111MPa</u> せん断応力 <u>30MPa/64MPa</u> 組合せ応力 <u>83MPa/156MPa</u> 配管 <ul style="list-style-type: none"> 一次+二次応力 <u>705MPa/343MPa</u> (簡易弾塑性解析 <u>397MPa/4881MPa</u>) 疲労累積係数 <u>0.40684/1.0</u> 	<p>呼び径から軸部断面積への変更： 実機に近い算出方法への見直しによる変更であり、評価結果として発生値、許容値の変更となり、保守的な結果となる。</p> <p>熱膨張係数の変更： ASME規格の反映による変更であり、評価結果として発生値の変更となり、相対変位に影響を与え、解析の節点毎に異なった結果となる。</p> <p>設計応力強さの変更： ASME規格の反映による変更であり、評価結果として許容値の変更となり、保守的な結果となる。</p>
強度に関する説明書	<p><評価条件></p> <ul style="list-style-type: none"> 縦弾性係数：<input type="text"/> 熱膨張係数：<input type="text"/> 設計応力強さ(Sm)：114(<u>114.8</u>)MPa 設計降伏点(Sy)：127MPa <p><評価結果> 発生値/許容値</p> <ul style="list-style-type: none"> 一次+二次応力 <u>305MPa/349MPa</u> 	<p><評価条件></p> <ul style="list-style-type: none"> 縦弾性係数：<input type="text"/> 熱膨張係数：<input type="text"/> 設計応力強さ(Sm)：114(<u>114.5</u>)MPa 設計降伏点(Sy)：127MPa <p><評価結果> 発生値/許容値</p> <ul style="list-style-type: none"> 一次+二次応力 <u>296MPa/347MPa</u> 	<p>熱膨張係数の変更、設計応力強さの変更： 上記と同様</p>

: 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

調査結果

<亀裂の位置、形状>

- 亀裂は、**溶接境界極近傍の母材部を起点として粒界に沿って進展**していた。

<破面、断面等の性状>

- 破面ミクロ観察から、破面全体にわたって**SCCでよく見られる粒界割れ**が認められた。
- 硬さ計測の結果、割れ近傍の表層で350HV、内部で200HV～240HVが認められ、SCC発生・進展の知見のある値を超えて**著しく硬くなっている**ことを確認した。（亀裂の断面からは、**溶接欠陥や補修溶接の痕跡は認められなかった。**）

亀裂発生及び亀裂進展要因

<シンニング加工の影響>

- 当該の亀裂発生部の**表層では、シンニング加工による微細化層は認められず、亀裂近傍での硬化はシンニング加工以外の要因**によるものと考えられる。

<溶接の影響>

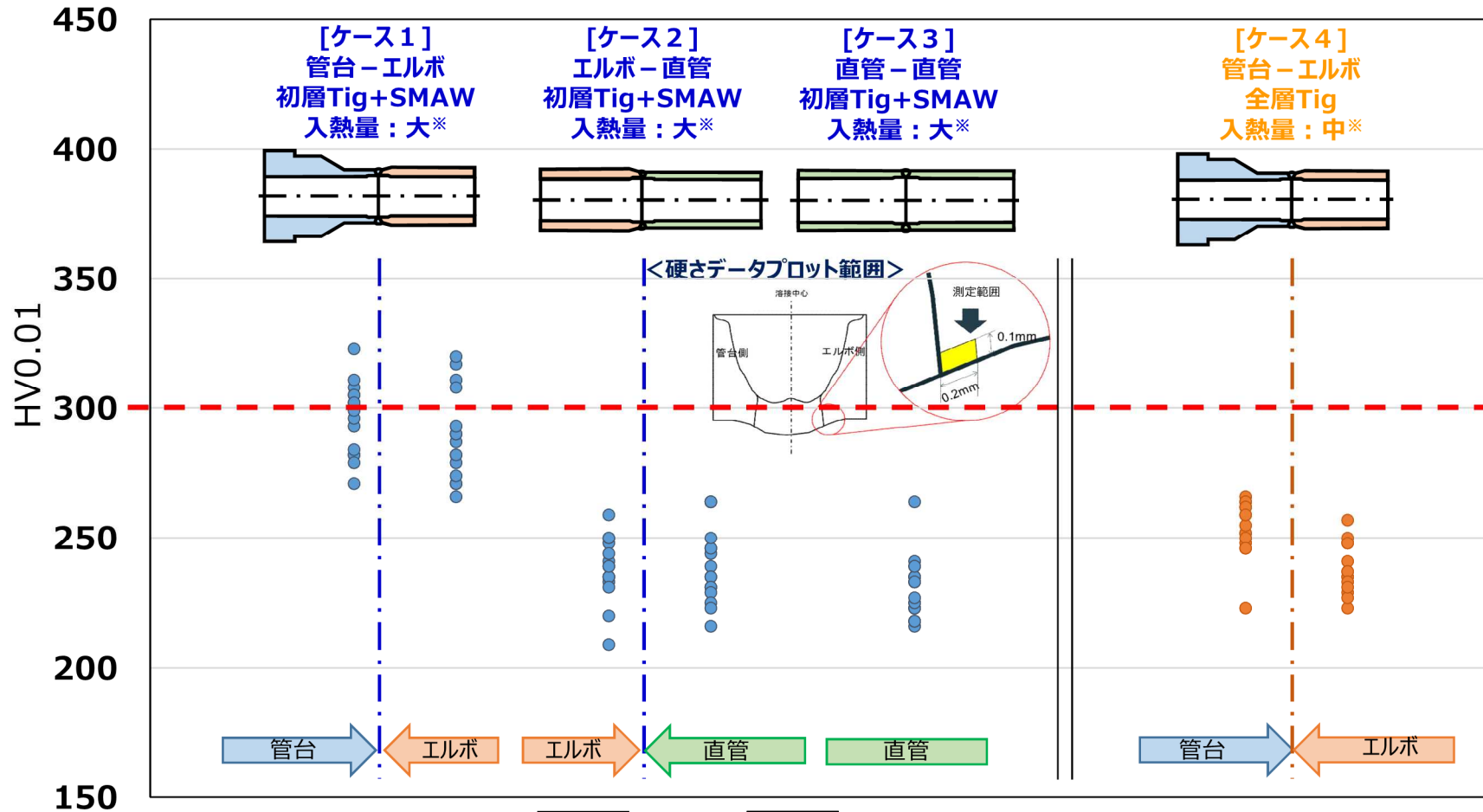
- 当該管の亀裂発生部近傍の溶接金属は、サンプル管と比較して、**デンドライトの成長方向から溶接速度が遅く、ビード幅も広いことから、大きな入熱で溶接されたものと推察する。**
- 当該部は、**過大な溶接入熱（若手による丁寧かつ慎重な溶接や手入れ溶接の可能性を含む）に加え、形状による影響※が重畳したことで、表層近傍において特異な硬化が生じていることが明らかとなったことから、亀裂は特異な硬化と応力が影響したことにより発生したものと判断している。**

※ 管台-エルボ形状では、変形領域が狭いため、溶接部近傍でひずみが大きくなる。

<形状による剛性の硬さへの影響>

- **本事象の当該管溶接部と同様の方法である初層Tig+SMAWで溶接され、かつ形状による剛性の影響から溶接時の変形領域の狭い「管台－エルボ」の形状では、300HVを超える硬さを確認した。**
- **全層Tigで溶接した場合は、「管台－エルボ」の形状でも300HVを超える硬さに至らないことを確認した。**

- 形状による剛性の影響について確認するためモックアップを製作し硬さ測定を実施



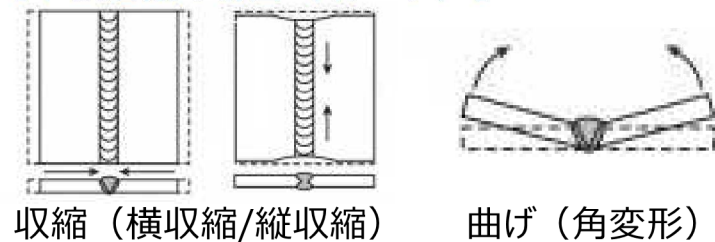
※：通常の溶接施工における入熱量 大：[] J/cm、中：[] J/cm
 なお、全層Tig溶接では初層Tig+SMAW溶接に比べて、初層を薄く溶接するため、入熱量が「大」になることはないことから、入熱量は「中」としている。

- 本事象の当該管溶接部と同様の方法である初層Tig+SMAWで溶接され、かつ形状による剛性の影響から溶接時の変形領域の狭い「管台 - エルボ」の形状では、300HVを超える硬さを確認した。
- 全層Tigで溶接した場合は、「管台 - エルボ」の形状でも300HVを超える硬さに至らないことを確認した。

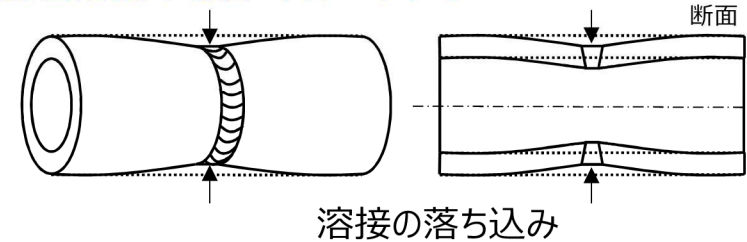
[] : 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません (1月29日公開会合説明資料 抜粋)

- ▶ 平板の溶接部では、溶金が凝固する際の収縮により、溶接部の収縮及び曲げ変形（角変形）が生じる。配管溶接の場合は円の形状により角変形が拘束されるため、溶接部の収縮と曲げは溶接部の落ち込みとして顕在化する。

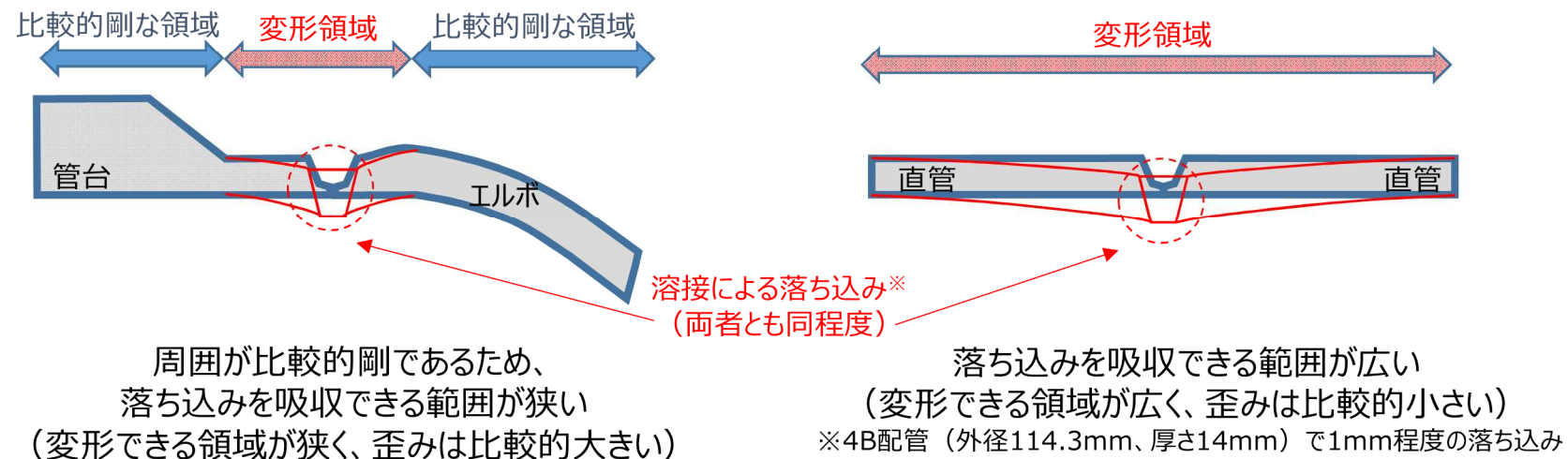
【平板溶接の場合（イメージ）】



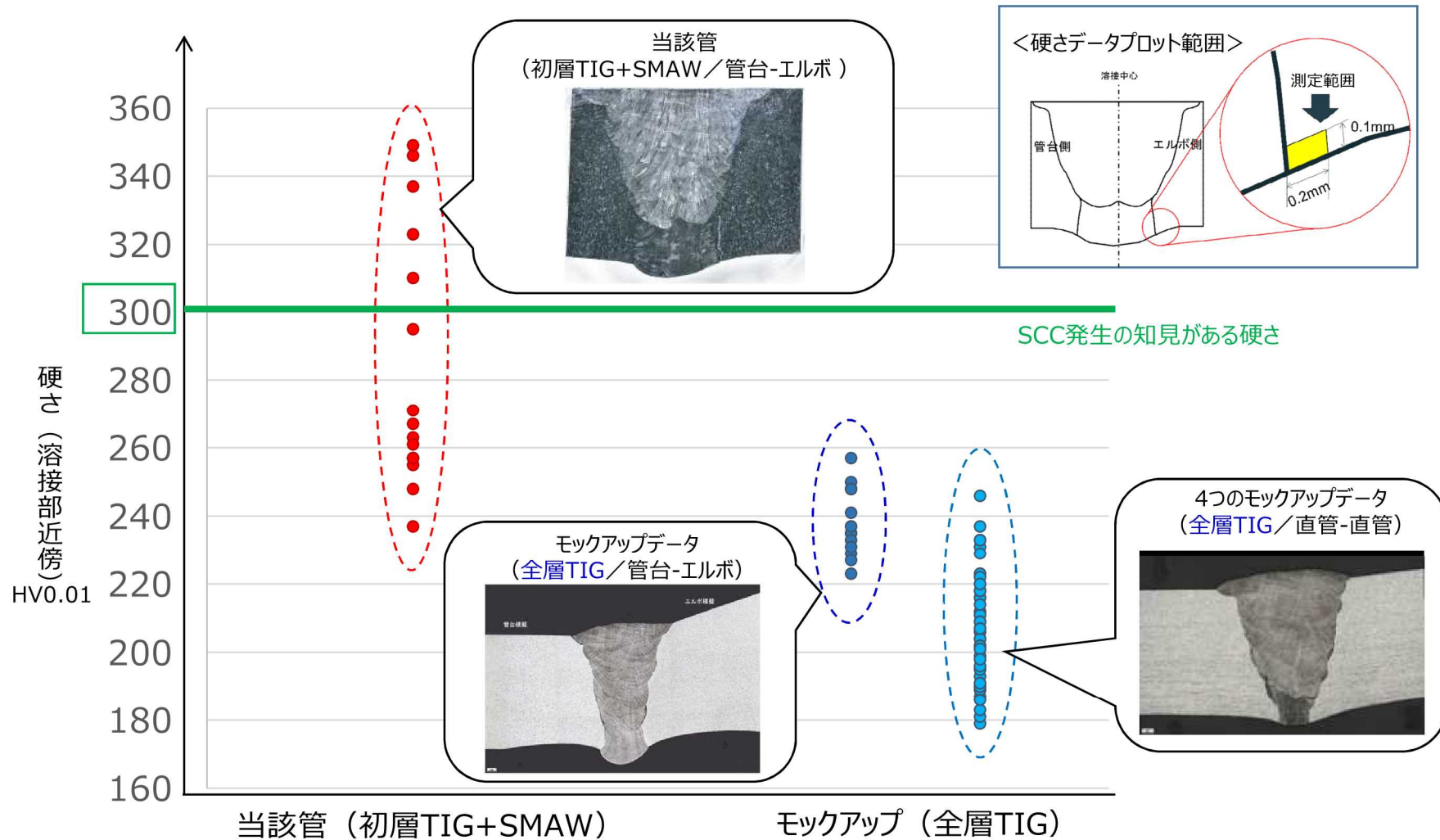
【配管溶接の場合（イメージ）】



- ▶ これまでのモックアップは直管同士で製作していたが、溶接部周囲の形状剛性の相違が変形程度へ影響した可能性について検証する。



- ▶ 形状による剛性により、管台－エルボの方が溶接時における変形領域が狭く、硬化が進む可能性が考えられる。



- 今回亀裂が発生した当該管溶接部は初層TIG+SMAWにて溶接され、その近傍の硬さはSCC発生の知見がある300HVを大きく超えている箇所があることを確認した。
- 全層TIGにて溶接したモックアップにおいては、管台-エルボの形状模擬でも300HVに至らないことを確認した。