

# 東海第二発電所

## 原子炉格納容器の限界温度・圧力 審査会合における指摘事項の回答

平成29年9月21日  
日本原子力発電株式会社

1. 第497回審査会合における指摘事項
2. 指摘事項の回答

# 1. 第497回審査会合における指摘事項



番号	指摘日時	分類	指摘事項の内容
1	2017/8/22	格納容器 本体	NUPEC 試験の適用性について、東海第二の解析モデルが同試験で評価した格納容器の破壊挙動を適切に模擬できていることを説明すること。
2	2017/8/22	格納容器 本体	日本機械学会「シビアアクシデント時の構造健全性評価ガイドライン(BWR 鋼製格納容器編)BSCV-3100」を適用できる根拠を説明すること。(破壊挙動を模擬するためのモデル化(メッシュの切り方、補正係数 $\beta$ の貫通部毎の差異の有無等)や構造不連続部のモデル化に関する説明を充実すること。
3	2017/8/22	トップヘッド フランジ	トップヘッドフランジの定格締付量の管理について、手作業に起因する誤差が定格締め付け量の管理に対して有意な影響を与えないこと(トルク管理との関係含む)、また作業員が変わる際にも、管理値に対する品質の維持が保たれることについて、管理方法等の実現性を説明すること。その際、従前のシールでの実績がどの程度のものか、ヘッドフランジの凸部が現状でも均一性を保っているのか等、40年程度経過している実績も考慮し説明すること。
4	2017/8/22	トップヘッド フランジ	改良EPDM について、東二としてどのような性質の材料を使用しようとしているのか、東二に適用できる根拠と、メーカーの開発で製品に変更が生じて、対象とする改良EPDM が特定できるよう、考え方(定義)を説明すること。
5	2017/8/22	トップヘッド フランジ	圧縮ひずみ試験の供試体の試験について、結果にばらつきがある中で平均値をとることとしているが、シール材の管理値のスケール感を鑑みれば厳しい値を採用するべきであり、見直した結果について説明すること。
6	2017/8/22	トップヘッド フランジ	押し込み試験について、環境条件(蒸気環境、乾燥環境)、試験体(母材)の厚さ、押込量などはシール材を適用する箇所により異なるため、結果を一様に適用できるのか。根拠を整理して説明すること。
7	2017/8/22	電気配線 貫通部	電気配線貫通部のモジュール試験については、電気ペネ共研は試験実施時間が7日間に比べ十分ではなく、他方、13日間の試験を行っている「過去の環境試験」については評価条件・結果等の説明が十分ではないため、説明を充実すること。
8	2017/8/22	トップヘッド フランジ	トップヘッドフランジのシール部に関し、製作公差を考慮した場合の許容開口量と開口量の比較において、内圧により内側ガスケット部の閉じ込め機能が失われる評価となっているが、当該閉じ込め機能は内外の二重のシールが機能することを設計上期待していることから、予め開口が認められる評価が得られている場合は、ガスケット設計を適切に見直すこと。(トップヘッドフランジ以外のフランジに対しても、製作公差を考慮した上で閉じ込め機能が維持できているか、説明すること)

## 2. 指摘事項の回答(No.1) (No.2)

### (1) 指摘事項(No.1)

NUPEC 試験の適用性について、東海第二の解析モデルが同試験で評価した格納容器の破壊挙動を適切に模擬できていることを説明すること。

### 指摘事項(No.2)

日本機械学会「シビアアクシデント時の構造健全性評価ガイドライン(BWR 鋼製格納容器編)BSCV-3100」を適用できる根拠を説明すること。(破壊挙動を模擬するためのモデル化(メッシュの切り方, 補正係数 $\beta$ の貫通部毎の差異の有無等)や構造不連続部のモデル化に関する説明を充実すること。

### (2) 回答

- ・第497回審査会合では、最新知見に基づく有限要素法を用いた弾塑性解析により塑性ひずみの評価結果を示したところであるが、許容ひずみの考え方についてはエンドースされたものではないことから、技術基準で要求される応力制限の考え方に基づき、改めて評価を実施した。
- ・原子炉格納容器の構造健全性の評価方法は、既工認の強度計算書の応力評価値に、評価圧力から算出される換算係数を乗じて、2Pd時の発生応力を評価した。その結果、表1に示すとおり、発生応力は許容応力以内であり、原子炉格納容器の健全性を確認した。
- ・評価点⑤については、2Pdの内圧に加え、シビアアクシデント時のスプレイ水による水位上昇に伴う水頭圧を考慮していることもあり、裕度が小さい結果となっている。シビアアクシデント時の水位については、運転手順により確実に管理されるため、当該部の応力強さが許容応力を超えることはない。

表1 原子炉格納容器の応力評価結果

評価対象		一次応力[MPa]			
		$P_m$		$P_L + P_b$	
		応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
原子炉格納容器本体	①円筒部と円錐部の接合部				
	②円錐部の角度変化部				
	③円錐部の板厚変化部				
	④円錐部と円筒部の接合部				
	⑤円筒部(中央部)				
	⑥原子炉格納容器基部				
	⑦機器搬入用ハッチ取付部				
	⑧サブプレッション・チェンバアクセスハッチ取付部				

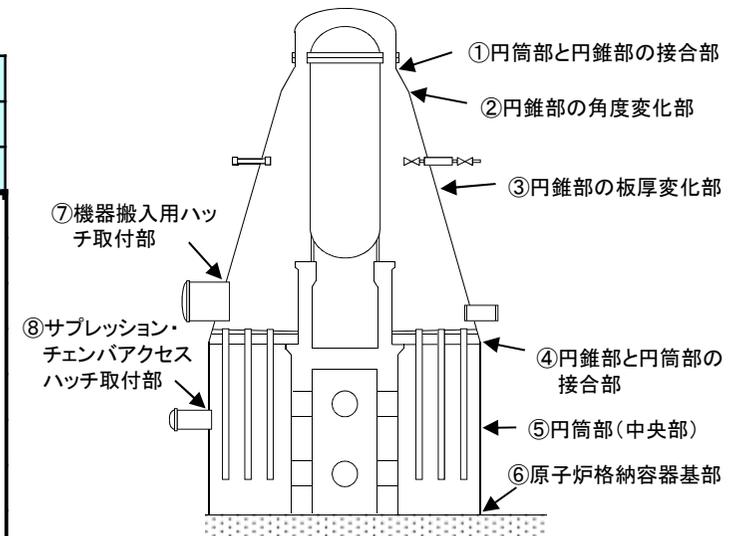


図1 原子炉格納容器の応力評価対象部位

※1: 構造不連続部であるため、 $P_L + P_b$ で評価  
 ※2: 一般構造部であるため、 $P_m$ で評価

### (3) 記載箇所

- 別紙 1. 原子炉格納容器本体
- 別紙 3. 機器搬入用ハッチ
- 別紙 4. サプレッション・チェンバアクセスハッチ

## 2. 指摘事項の回答(No.3)

### (1) 指摘事項

トップヘッドフランジの定格締付け量の管理について、手作業に起因する誤差が定格締め付け量の管理に対して有意な影響を与えないこと(トルク管理との関係含む)、また作業員が変わる際にも、管理値に対する品質の維持が保たれることについて、管理方法等の実現性を説明すること。その際、従前のシールでの実績がどの程度のものか、ヘッドフランジの凸部が現状でも均一性を保っているのか等、40年程度経過している実績も考慮し説明すること。

### (2) 回答

・トップヘッドフランジ閉鎖時の締付け作業においては、以下の管理を工事要領書に基づき実施しているため、定格締め付け量の管理に対して作業員の違いや手作業に起因する誤差の影響はなく、管理値に対する品質は維持されている。

トルク管理	決められたトルクでボルトを締め付け
面間管理	<input type="text"/> の隙間ゲージが挿入できないことを確認

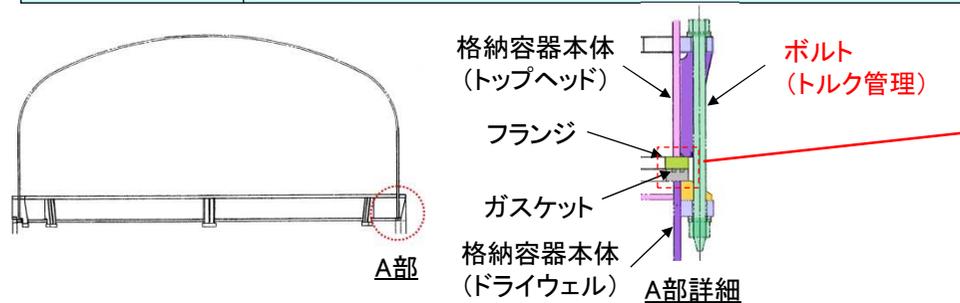


図1 トップヘッドフランジ構造図

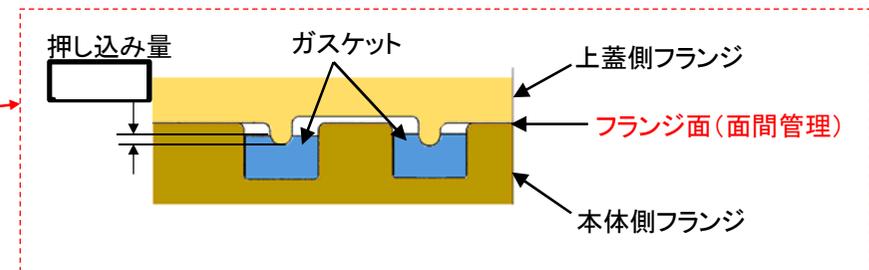


図2 フランジガスケット部詳細図

・トップヘッドフランジのタンゲやガスケット溝は、以下により、シール部の健全性が維持されると考える。

管理項目	内容
点検手入れ	傷つけないような素材で実施
外観目視点検	傷や変形がないことを確認
漏えい検査	定期検査毎に原子炉格納容器全体の漏えい率検査及びトップヘッドフランジ部のみのリークテストを実施しており、有意な変動のないことを確認

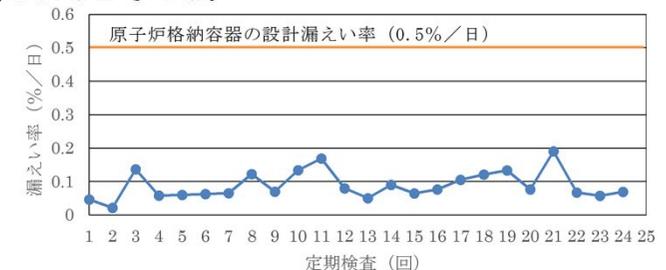


図3 原子炉格納容器全体漏えい率検査実績

### (3) 記載箇所

参考資料9 トップヘッドフランジ等の開口量評価について

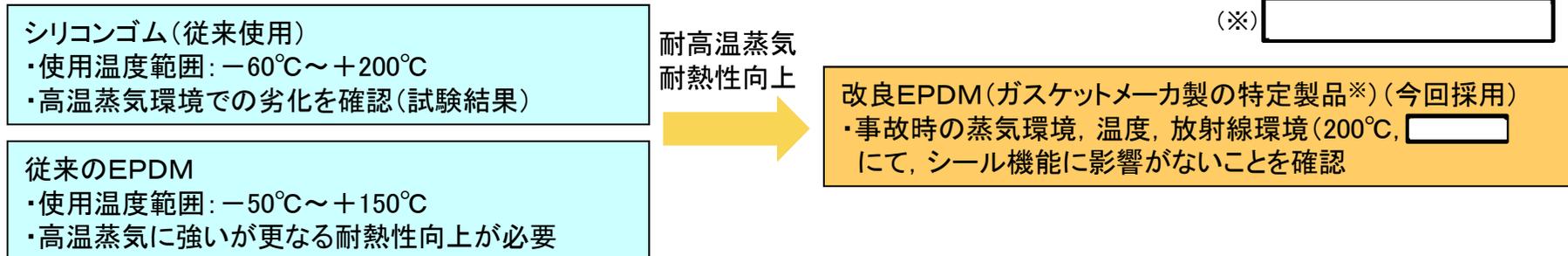
## 2. 指摘事項の回答(No.4)

### (1) 指摘事項

改良EPDMについて、東二としてどのような性質の材料を使用しようとしているのか、東二に適用できる根拠と、メーカーの開発で製品に変更が生じて、対象とする改良EPDMが特定できるよう、考え方(定義)を説明すること。

### (2) 回答

- ・東海第二発電所では、改良EPDM製シール材としてガスケットメーカーの特定製品※を採用する計画である。
- ・ガスケットメーカーの特定製品※は、耐高温蒸気、耐熱性向上の観点で開発されたシール材である。



- ・ガスケットメーカーにおいて、耐熱性、耐高温蒸気性及び耐放射線性の確認を目的に、事故時環境を考慮した条件()にて圧縮永久ひずみ試験が実施されており、耐性が確認されている。
  - ・当社は、ガスケットメーカーで実施された試験と同様に圧縮永久ひずみ試験を実施するとともに、重大事故等時の温度及び放射線による劣化特性がシール機能に影響を及ぼすものでないことを実機フランジ模擬試験にて確認し、東海第二に適用できることを確認した。
  - ・今後、当該品を特定できるよう設計管理を行うとともに、調達においてはメーカー型番を指定することでシール機能が確認された製品を確実に使用すること可能である。
- なお、技術開発により、製品に変更が生じた場合、より高い信頼性があることを、今回と同様に圧縮永久ひずみ試験等により事故時環境におけるシール機能評価を行い、実機フランジへの適用性について確認する。

### (3) 記載箇所

参考資料1 改良EPDM製シール材の適用性について

## 2. 指摘事項の回答(No.5)



### (1) 指摘事項

圧縮ひずみ試験の供試体の試験について、結果にばらつきがある中で平均値をとることとしているが、シール材の管理値のスケール感を鑑みれば厳しい値を採用すべきであり、見直した結果について説明すること。

### (2) 回答

・圧縮永久ひずみ試験は、JIS K 6262「加硫ゴム及び熱可塑性ゴム－常温、高温及び低温における圧縮永久ひずみの求め方」に基づき実施しており、圧縮永久ひずみ率はJISの規定どおり、同時に試験した3個の供試体から得られた結果の平均値(  )を用いている。

・フランジの開口量評価に用いたひずみ率は、JISに基づく、圧縮永久ひずみ試験の結果を用いているが、シール部の構成部品に対する製作公差等の影響を考慮した開口量評価を行うにあたり、圧縮永久ひずみ率においても、より厳しい値で評価することとし、類似条件の試験結果を加え、統計学的に圧縮永久ひずみ率を算出した。

統計学的に算出した圧縮永久ひずみ率の最大値:

上記の圧縮永久ひずみ率を用いて、トップヘッドフランジ等のシール部について製作公差等を考慮した開口量評価を行い、シール機能が維持できることを確認した。

確認結果は、指摘事項の回答(No.8)に記載する。

### (3) 記載箇所

参考資料9 トップヘッドフランジ等の開口量評価について

表1 統計学的に算出した圧縮永久ひずみ率

試験 No.	ひずみ率 [%]	平均値 [%]	標準偏差σ [%]	平均値+2σ [%]
1				
2				
3				
4				

#### 試験条件

雰囲気: 蒸気環境(試験No.1~4)

温度・劣化時間: 200°C・168時間(試験No.1~4)

照射線量

圧縮永久ひずみ試験: JIS K 6262に基づき実施

## 2. 指摘事項の回答(No.6)

### (1) 指摘事項

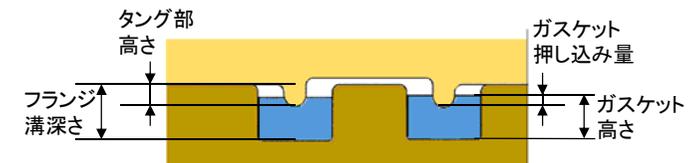
押し込み試験について、環境条件(蒸気環境, 乾燥環境), 試験体(母材)の厚さ, 押込量などはシール材を適用する箇所により異なるため、結果を一様に適用できるのか。根拠を整理して説明すること。

### (2) 回答

- ・圧縮永久ひずみ試験及び実機フランジ模擬試験については、以下のように結果を一様に適用できる。
  - 試験の環境条件 : 環境条件については評価上最も厳しくなる200℃, 2Pdを各フランジの評価条件として設定し、実機フランジ模擬試験の試験条件としていることから、実機フランジ模擬試験の結果は適用可能である。
  - 試験体の構造(厚さ): 構造の違いによる開口量へ与える影響は、有限要素法による解析で模擬している。各フランジのシール部の設計(ガスケット溝深さ、タング部高さ、ガスケット高さ)はほぼ同様であるため、実機フランジ模擬試験の結果を適用できる。
  - 押し込み量 : 各フランジのガスケット圧縮率は、ほぼ一定となるよう設計されており、押し込み量の違いによる影響はない。

表1 各フランジの各部寸法及び圧縮率

設備名	フランジ溝深さ [mm]	タング部高さ [mm]	ガスケット高さ [mm]	ガスケット押し込み量 [mm]	圧縮率 [%]
トップヘッドフランジ					
機器搬入用ハッチ					
サプレッション・チェンバアクセスハッチ					
閉止板(X-28)					



- ・ガスケット押し込み量 = (ガスケット高さ + タング部高さ) - フランジ溝深さ
- ・圧縮率 = (ガスケット押し込み量) / (ガスケット高さ) × 100%

図1 フランジガスケット部詳細図

### (3) 記載箇所

参考資料2 改良EPDM製シール材における各試験について

## 2. 指摘事項の回答(No.7)

### (1) 指摘事項

電気配線貫通部のモジュール試験については、電気ペネ共研は試験実施時間が7日間に比べ十分ではなく、他方、13日間の試験を行っている「過去の環境試験」については評価条件・結果等の説明が十分ではないため、説明を充実すること。

### (2) 回答

#### ① 電気ペネ共研

➢ 実機の電気ペネトレーションのモジュール部への伝熱を模擬した試験であり、200℃・2Pdの環境条件下において、一次シール部(高圧用194℃/62時間、低圧用137℃/62時間)、二次シール部(高圧用44℃/62時間、低圧用68℃/62時間)ともにシール機能が維持されることを確認している。

種類	試験条件					シール部温度(℃)／漏えい有無	
	雰囲気	温度(℃)	圧力(MPa)	放射線照射	時間(h)	一次シール	二次シール
高圧	乾熱	200(220)*	(0.61~0.79)*	なし	62	194/漏えいなし	44/漏えいなし
低圧	乾熱	200(220)*	(0.60~0.81)*	なし	62	137/漏えいなし	68/漏えいなし

※: ()内は記録グラフからの読み取り値

#### ② 過去の環境試験

➢ 冷却材喪失事故模擬試験として高温環境下で13日間のシール機能の健全性を確認している。  
 ➢ 電気ペネ共研での二次シール部の温度よりも高い温度で、13日間のシール機能の健全性を確認している。

○ 以下により、電気配線貫通部のモジュールについて、格納容器が200℃の状況において格納容器閉じ込め機能が確保できると考える。

➢ 格納容器内環境が200℃における二次シール部の温度は、実機を模擬した試験体を使用している電気ペネ共研で得られた温度(高圧用44℃、低圧用68℃)と評価できる。  
 ➢ 過去の環境試験では、電気ペネ共研で得られた二次シール部の温度(高圧用44℃、低圧用68℃)を上回る温度条件下で、13日間のシール部の健全性が確認されている。

### (3) 記載箇所

別紙 7.4 電気配線貫通部(モジュール)

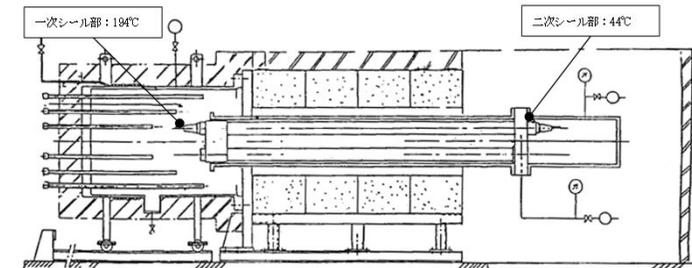


図1 電気ペネ共研 試験概要図(高圧用)

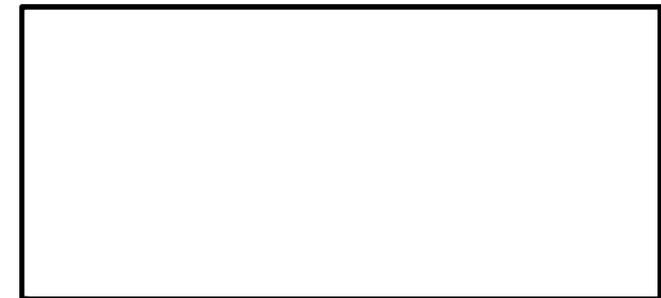


図2 冷却材喪失事故模擬試験 試験概要図(高圧用)



図3 冷却材喪失事故模擬試験 温度測定結果

## 2. 指摘事項の回答(No.8) (1/2)

### (1) 指摘事項

トップヘッドフランジのシール部に関し、製作公差を考慮した場合の許容開口量と開口量の比較において、内圧により内側ガスケット部の閉じ込め機能が失われる評価となっているが、当該閉じ込め機能は内外の二重のシールが機能することを設計上期待していることから、予め開口が認められる評価が得られている場合は、ガスケット設計を適切に見直すこと。(トップヘッドフランジ以外のフランジに対しても、製作公差を考慮した上で閉じ込め機能が維持できているか、説明すること)

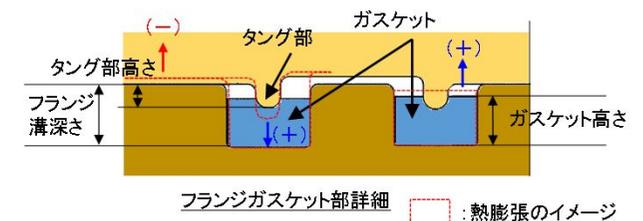
### (2) 回答

- ・トップヘッドフランジのシール部は、技術基準規則第44条に要求される単体の漏えい試験を可能とするように、内側及び外側ガスケットの間に加圧空間を有する二重シール構造の設計としている。原子炉格納容器の閉じ込め機能は、内側又は外側のどちらか一方のシール部機能が保たれればよい。
- ・トップヘッドフランジのガスケットの設計(管理値)の見直し及び製作公差の精査を行い、開口量評価を実施した結果、トップヘッドフランジの2Pdにおける開口量は内側及び外側のいずれについても許容開口量以下であることを確認した。
- ・トップヘッドフランジ以外のシール部についても、2Pdにおける開口量は許容開口量以下であることを確認した。

精査項目	内容	考え方	精査結果
ガスケット製作公差	管理値の見直し	・ガスケットの製作公差の最小側を設けない管理基準に変更した。	
シール部の製作公差	二乗和平方根の採用	・機器の寸法公差は、寸法の中央値となるように管理されており、寸法公差の全てが、最も評価に不利な値となることは考え 難いことから、シール部の製作公差は、二乗和平方根を用いる。	
シール部の構成材料の熱膨張	材料の熱膨張の考慮	・200℃におけるシール部の評価であることから、構成材料の熱膨張を考慮した。	
ひずみ率	材料特性のばらつきを考慮したひずみ率を採用	・ひずみ率をより厳しい値とするため、圧縮永久ひずみ試験の結果に、統計学的なばらつきを考慮したひずみ率を設定した。(回答No.5より)	

	①押し込み量(公称値)	②シール部の公差	③熱膨張	④ひずみ率	許容開口量	開口量(2Pd)
内側シール部						
外側シール部						

- ・類似の設計であるサプレッション・チェンバアクセスハッチの実機寸法を測定した結果、製作誤差は  であった。したがって、サプレッション・チェンバアクセスハッチと同一の設計メーカーであり同一の工場で製造されたトップヘッドフランジの開口量評価において、上記の製作公差の値()を用いることは保守的である。
- ・今後、ガスケットの増厚を検討し、裕度を確保することとする。



### (3) 記載箇所

参考資料9 トップヘッドフランジ等の開口量評価について

## 2. 指摘事項の回答(No.8) (2/2)

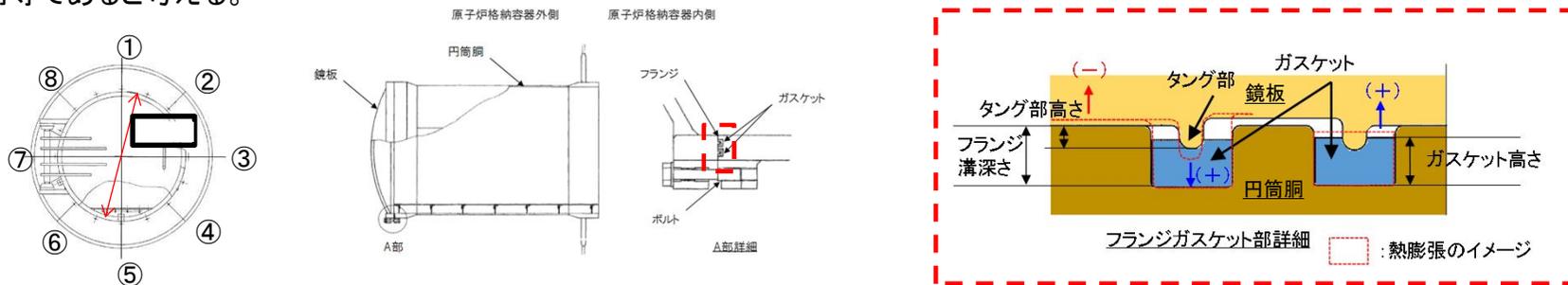
### 【参考】サプレッション・チェンバアクセスハッチ 実機フランジ計測

#### (1) 目的

トップヘッドフランジのシール部は、製作公差を考慮した場合の許容開口量と開口量の比較において、内側シール部の裕度が小さいことから、実機フランジ(サプレッション・チェンバアクセスハッチ)の寸法測定を実施し、製作誤差による影響を確認した。

#### (2) 測定結果

- ・実機寸法測定の結果、製作公差( )に対し、シール部が開口となる方向の製作寸法の誤差は( )以内であった。
- ・サプレッション・チェンバアクセスハッチシール部のガスケット溝及びタング(突起)は、トップヘッドフランジのガスケット溝及びタング(突起)と設計メーカ、設計、製作方法及び材質は同じであり、機械加工の精度も同等であると考えられることから、製作寸法の誤差についても同等であると考ええる。



サプレッション・チェンバアクセスハッチ 構造図

測定箇所	設計値 [mm]	測定結果 [mm]															
		①		②		③		④		⑤		⑥		⑦		⑧	
		内側	外側	内側	外側	内側	外側	内側	外側	内側	外側	内側	外側	内側	外側	内側	外側
溝深さ																	
タング高さ																	

#### (3) 実機フランジ計測結果を考慮した開口量評価(最も裕度が小さいトップヘッドフランジ部にて評価)

- ・トップヘッドフランジシール部にサプレッション・チェンバアクセスハッチと同程度の製作誤差があると仮定し、トップヘッドフランジの許容開口量を算出した結果、許容開口量は( )と評価され、解析から評価した開口量( )に対して余裕がある結果となった。

	①押し込み量 (公称値)	②シール部の公差	③熱膨張	④ひずみ率	許容開口量	開口量 (2Pd)	<評価条件>
内側シール部							・ガスケット寸法 : ( )
外側シール部							・シール部の公差 : S/Cハッチの実測値使用 ・バックアップシール: 有

# 東海第二発電所 原子炉格納容器の限界温度・圧力

平成29年8月22日  
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

## 1. 評価の概要

---

### ○限界温度・圧力の設定

- ⇒ 原子炉格納容器の評価温度及び圧力については、重大事故等時において、原子炉格納容器の機能である放射性物質の閉じ込め機能を確保できるものとする。
- ⇒ 東海第二発電所の重大事故等対策の有効性評価において、原子炉格納容器の評価温度及び圧力をそれぞれ200°C、2Pd(0.62MPa[gage], Pd:最高使用圧力(0.31MPa[gage]))としている。
- ⇒ これより、限界温度・圧力は、既往研究で得られた知見に加え、重大事故等対策の有効性評価における事故シナリオを考慮し実施した試験等による原子炉格納容器の破損・漏えい限界に対し、余裕を考慮した値として、200°C、2Pdを設定している。

### 【既往研究】

- a. (財)原子力発電技術機構「重要構造物安全評価(原子炉格納容器信頼性実証事業)に関する総括報告書(平成15年3月)」(以下「NUPEC試験」という。)
- b. 電力共同研究「格納容器電気ペネトレーションの特性確認試験(昭和62年度)」(以下「電気ペネ共研」という。)

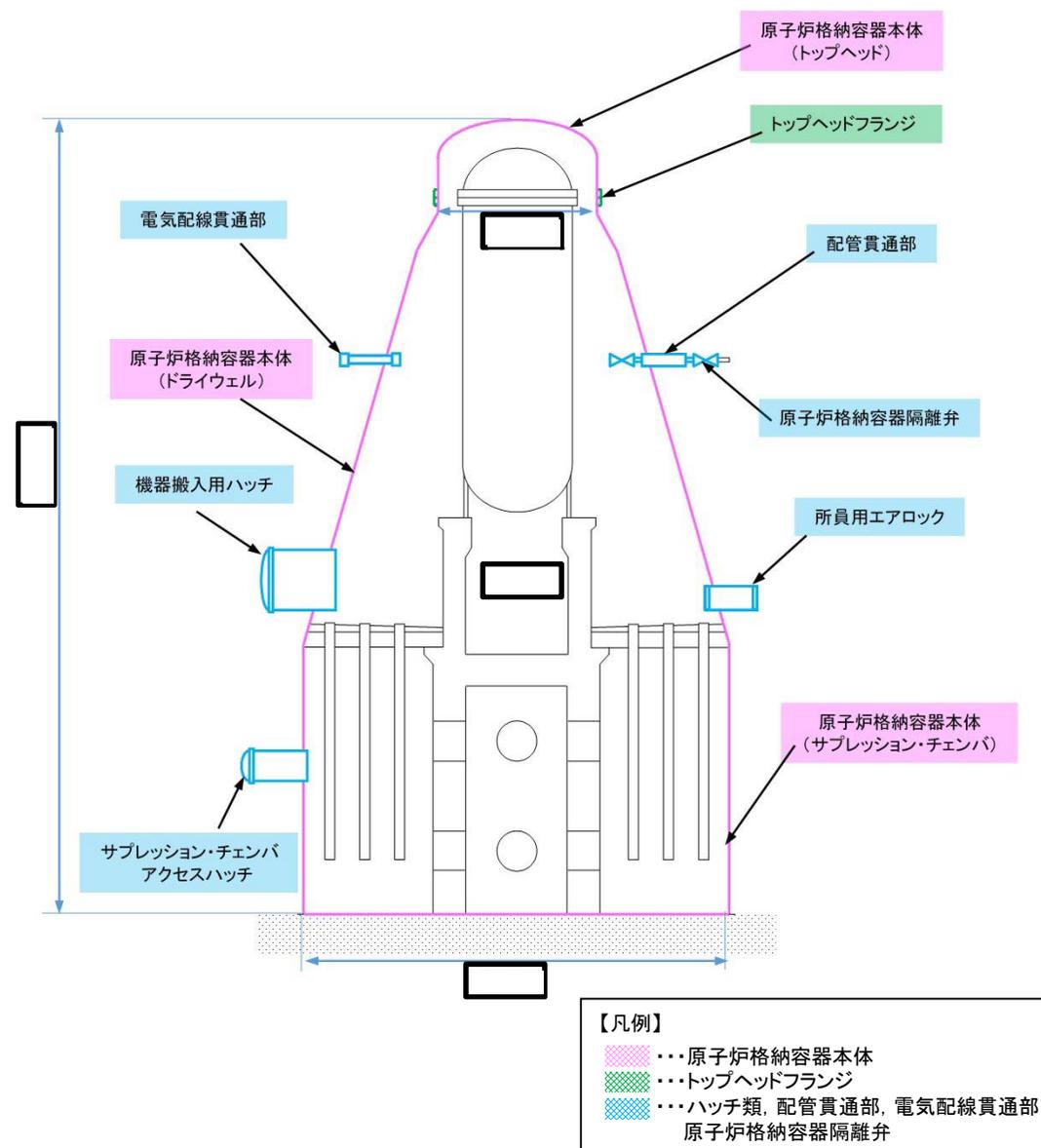
# 1. 評価の概要

## ○評価対象

⇒重大事故等時に放射性物質の閉じ込め機能を確保するためには、200℃、2Pdの環境下における原子炉格納容器本体等の構造健全性を確認する必要がある。

⇒また、福島第一原子力発電所事故において、原子炉格納容器からの漏えい要因の一つとして推定されている開口部等のシール部についても、200℃、2Pdの環境下での機能維持を確認する必要がある。

⇒このことから、原子炉格納容器本体に加えて、開口部及び貫通部の構成品、また、ガスケットの劣化及びシート部の開口に伴いリークパスになる可能性があるシール部について評価する。



## 2. 原子炉格納容器本体の評価

### 2.1 原子炉格納容器本体(一般構造部)

#### ○想定される機能喪失要因

- ・延性破壊

(内圧を受けることによって生じる, 過度な塑性変形)

#### ○機能喪失要因の選定理由

原子炉格納容器本体の設計時に考慮される機能喪失要因は, 脆性破壊, 疲労破壊, 座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である200℃, 2Pdの条件を考慮した場合, 脆性破壊が生じる温度域でないこと, 繰り返し荷重が作用しないこと, 圧縮力が一般部に生じないことから, 脆性破壊, 疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

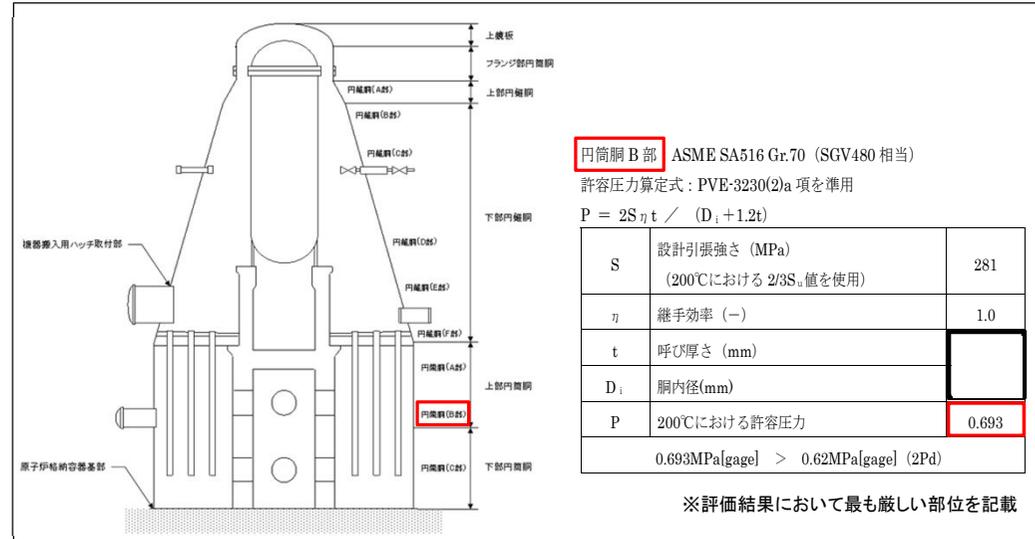
#### ○評価対象と評価方法

評価対象	機能喪失要因	評価方法
構造部 一般構造部	延性破壊	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計・建設規格の評価式を準用した評価</li> <li>・有限要素法を用いた弾塑性解析結果を活用した評価</li> </ul>

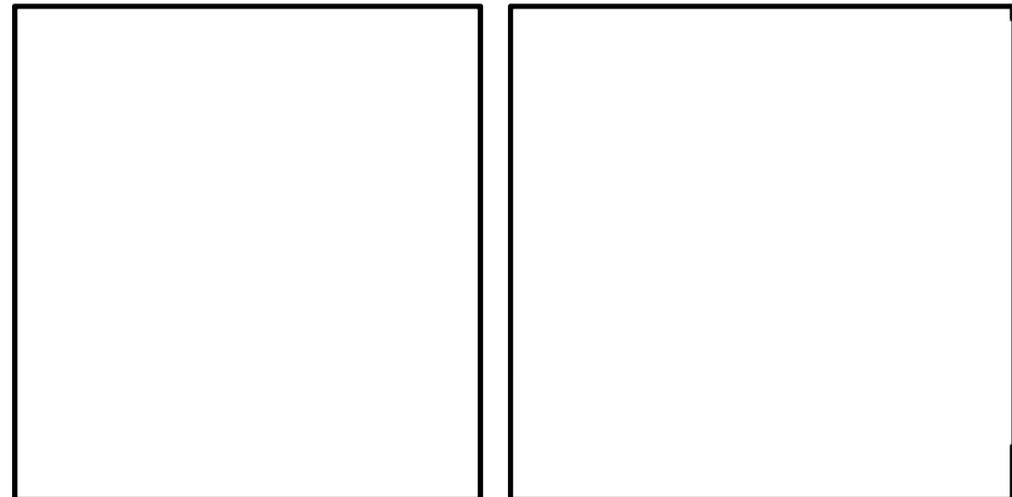
#### ○評価結果

評価結果は以下のとおりであり, 放射性物質の閉じ込め機能を維持できる。

- ・規格を準用し算出された許容圧力(0.693MPa[gage])は, 評価圧力2Pdを上回る。
- ・有限要素法による弾塑性解析結果から, 格納容器全体が破損に至るのは, 約1.4MPa(4.6Pd)であり, 評価圧力2Pdを上回る。



設計・建設規格の評価式を準用した評価



有限要素法を用いた弾塑性解析結果(東海第二, 200℃, 2Pd)

## 2. 原子炉格納容器本体の評価

### 2.2 機器搬入用ハッチ取付部(構造不連続部)

#### ○想定される機能喪失要因

- ・延性破壊

(内圧を受けることによって生じる, 過度な塑性変形)

#### ○機能喪失要因の選定理由

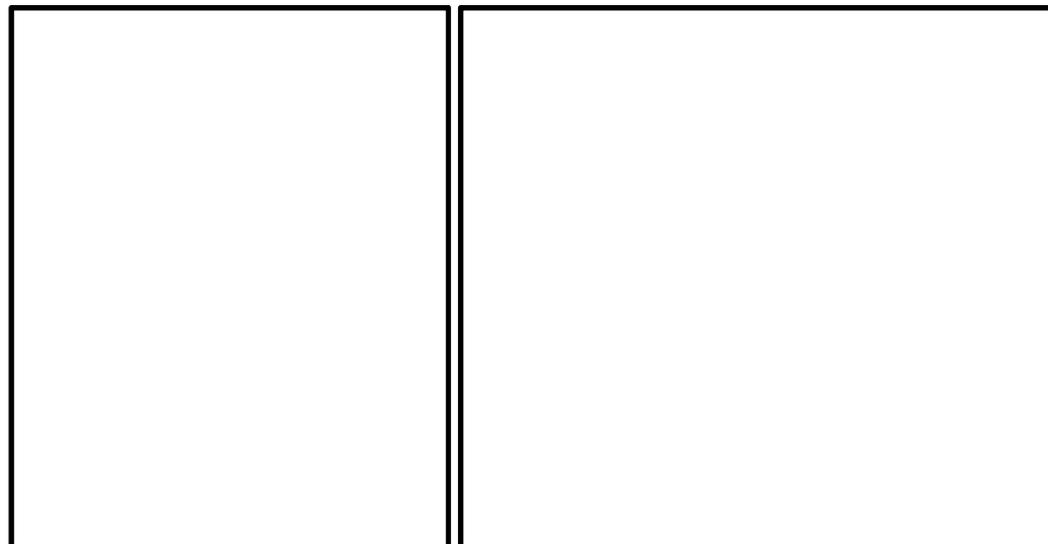
原子炉格納容器本体の設計時に考慮される機能喪失要因は, 脆性破壊, 疲労破壊, 座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である $200^{\circ}\text{C}$ ,  $2\text{Pd}$ の条件を考慮した場合, 脆性破壊が生じる温度域でないこと, 繰り返し荷重が作用しないこと, 圧縮力が一般部に生じないことから, 脆性破壊, 疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

#### ○評価対象と評価方法

	評価対象	機能喪失要因	評価方法
構造部	構造不連続部	延性破壊	・有限要素法を用いた弾塑性解析結果を活用した評価

#### ○評価結果

局部的に塑性ひずみが発生しているが,  $200^{\circ}\text{C}$ ,  $2\text{Pd}$ における増分はごくわずかであり, ひずみ集中による局部的な破損が発生することはない。



東海第二 原子炉格納容器  
全体モデル図

相当塑性ひずみ分布図( $200^{\circ}\text{C}$ ,  $2\text{Pd}$ )



相当塑性ひずみと限界ひずみとの比較( $200^{\circ}\text{C}$ )

### 3. シール部の機能評価

#### 3. 1 トップヘッドフランジ(シール部)

##### 3. 1. 1 フランジ部開口量評価(弾塑性解析)

###### ○想定される機能喪失要因

- ・開口, シール機能低下

###### ○機能喪失要因の選定理由

トップヘッドフランジのシール部については、内圧が低い段階ではボルトの締め付けにより開口は抑制されるが、内圧の上昇に伴って開口量が増加することにより、外部への漏えい経路を形成する。

また、フランジが開口してもフランジの密閉性を担保しているシール材が健全であれば、シール材が開口に追従するため外部への漏えいを防止することができるが、重大事故環境に晒されると、シール材が高温劣化し、フランジの開口に追従できなくなりシール機能の低下が想定される。

###### ○評価対象と評価方法

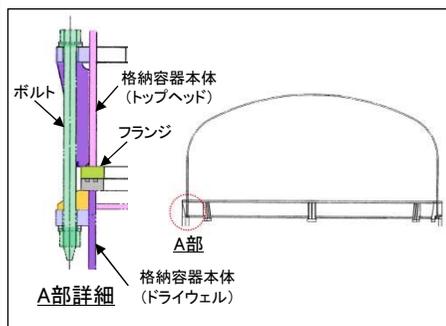
評価対象	機能喪失要因	評価方法
シール部 (フランジ, ガスケット)	開口 シール機能低下	実機モデルのFEM解析による開口量評価 既往研究の試験結果を用いた評価

###### ○評価結果

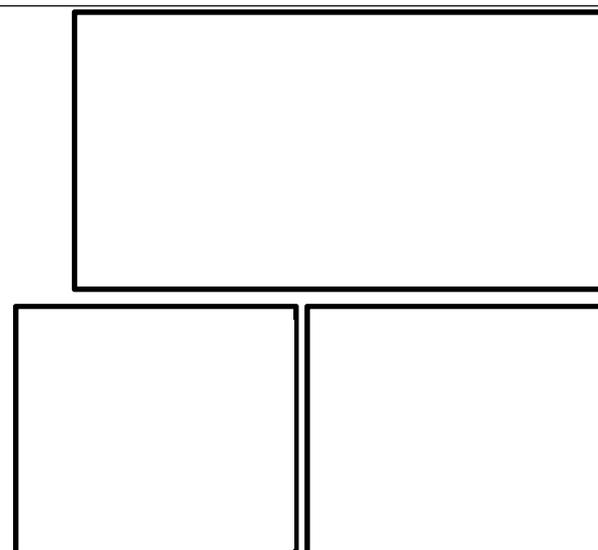
圧縮永久ひずみ試験結果より、許容される開口量は  であるのに対し、FEM解析による2Pdにおけるフランジ部の開口量は、 であり、許容開口量  を下回ることからシール機能は維持できる。

###### ○開口量評価

200°Cにおける圧力と開口量の関係より、2Pdにおける内側ガスケット部の開口量は 、外側ガスケット部の開口量は  であった。



トップヘッドフランジ部構造図



トップヘッドフランジ解析モデル

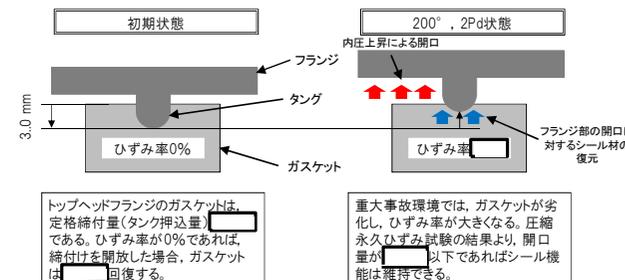
圧力と開口量の関係(東海第二, 200°C)

###### ○許容開口量

トップヘッドフランジは、タング(突起)がガスケットを押し込む構造であり、フランジの定格締付量(タング押込量)は  である。圧力の増加に伴いフランジ部は開口するが、ひずみ率が  であればガスケットは  ( $= \text{} \times (100\% - \text{})$ ) まで回復するため、開口量が  以下であればシール機能は維持できる。

###### 圧縮永久ひずみ試験結果(改良EPDM材)

試験温度	200°C
構造部放射線照射量	<input type="text"/>
試験雰囲気	蒸気
試験時間	168h
ひずみ率	<input type="text"/>



トップヘッドフランジのガスケットは、定格締付量(タング押込量)  である。ひずみ率が0%であれば、締付けを開放した場合、ガスケットは  回復する。

重大事故環境では、ガスケットが劣化し、ひずみ率が大きくなる。圧縮永久ひずみ試験の結果より、開口量が  以下であればシール機能は維持できる。

圧縮永久ひずみ試験

#### 4. 評価結果のまとめ

評価対象	評価点	評価方法	評価条件	評価値	判定基準	評価結果
原子炉格納容器本体	一般構造部	設計・建設規格を準用 有限要素法(FEM)	200°C	許容圧力:0.693MPa[gage](円筒胴部) 塑性破壊(全体):約1.4MPa[gage] (疲労累積係数 [ ])	0.62MPa[gage](2Pd)以上 0.62MPa[gage](2Pd)以上 (疲労累積係数1以下)	破断せず 破断せず (1以下)
	構造不連続部	有限要素法(FEM)	200°C	局部破損なし	破損がないこと	破断せず
トップヘッドフランジ	構造部 (ボルト・フランジ)	ボルト:工認手法 フランジ:PVE-3700	2Pd	発生応力(ボルト):247MPa 発生圧力(フランジ):185MPa	576MPa以下 422MPa以下	破断せず 破断せず
	シール部 (フランジ・ガスケット)	有限要素法(FEM) ガスケット試験	200°C 2Pd	開口量 [ ] (内側): [ ] (外側)	許容開口量 [ ] 以下	シール機能維持
機器搬入用ハッチ	構造部 (円筒胴、鏡板、フランジ、ボルト)	設計・建設規格準用	2Pd	許容圧力(円筒胴):2.445MPa[gage] 許容圧力(鏡板):10.110MPa[gage]	0.62MPa[gage](2Pd)以上	破断せず
	シール部(フランジ・ガスケット)	有限要素法(FEM) ガスケット試験	200°C 2Pd	開口量 [ ] (内側): [ ] (外側)	許容開口量 [ ] 以下	シール機能維持
サブプレッション・チェンバ アクセスハッチ	構造部 (円筒胴、鏡板、フランジ、ボルト)	設計・建設規格準用	2Pd	許容圧力(円筒胴):4.493MPa[gage] 許容圧力(鏡板):10.637MPa[gage]	0.62MPa[gage](2Pd)以上	破断せず
	シール部(フランジ・ガスケット)	有限要素法(FEM) ガスケット試験	200°C 2Pd	開口量 [ ] (内側): [ ] (外側)	許容開口量 [ ] 以下	シール機能維持
所員用エアロック	構造部(円筒胴)	設計・建設規格を準用	2Pd	許容圧力:3.716MPa[gage]	0.62MPa[gage](2Pd)以上	破断せず
	構造部(隔壁)	既工認の評価値を用いた評価	2Pd	許容圧力:1.322MPa[gage]	0.62MPa[gage](2Pd)以上	破断せず
	シール部(扉板シール部)	機械工学便覧 ガスケット試験	200°C 2Pd	開口量 [ ]	許容開口量 [ ] 以下	シール機能維持
	シール部(その他シール部)	ガスケット試験	200°C	200°C以上	200°C以上	シール機能維持
配管 貫通部	接続配管	同左	代表配管:PPG-3530	200°C 2Pd	発生応力(X-31):169MPa	許容応力(257MPa)以下 破断せず
	スリーブ	スリーブ本体	設計・建設規格を準用	2Pd	許容圧力(X-18):26.617MPa[gage]	0.62MPa[gage](2Pd)以上 破断せず
		スリーブ取付部	工認手法	2Pd	発生応力(X-31):188MPa	許容応力(393MPa)以下 破断せず
	平板類	構造部(ボルト締め平板)	設計・建設規格を準用	2Pd	許容圧力(X-28):1.90MPa[gage]	0.62MPa[gage](2Pd)以上 破断せず
		構造部(フランジ、ボルト)	JIS B 8265	2Pd	発生応力(X-28):124MPa	許容応力(281MPa)以下 破断せず
		シール部(フランジ・ガスケット)	文献の理論式	200°C 2Pd	開口量 [ ]	許容開口量 [ ] 以下 シール機能維持
	セーフエンド	同左	設計・建設規格を準用	200°C 2Pd	許容圧力(X-18):4.529MPa[gage]	0.62MPa[gage](2Pd)以上 破断せず
伸縮継手	同左	設計・建設規格を準用	2Pd	疲労累積係数(X-14): [ ]	疲労累積係数1以下 1以下	
電気配線 貫通部	アダプタ	同左	設計・建設規格を準用	200°C 2Pd	許容圧力(高圧):10.645MPa[gage] 許容圧力(低圧):10.619MPa[gage]	0.62MPa[gage](2Pd)以上 破断せず
	ヘッダ	同左	設計・建設規格を準用	200°C 2Pd	許容圧力(高圧):27.948MPa[gage] 許容圧力(低圧):10.69MPa[gage]	0.62MPa[gage](2Pd)以上 破断せず
	モジュール	シール部(モジュール)	電気ベネ共研、NUPEC試験	200°C 2Pd	漏えいなし	漏えいなし シール機能維持
原子炉 格納容器 隔離弁	不活性ガス系 バタフライ弁	弁箱	レーティング設計	200°C 2Pd	許容圧力:1.40MPa[gage]	0.62MPa[gage](2Pd)以上 破断せず
		弁シート部	漏えい確認試験	200°C 2Pd	漏えいなし	設計漏えい量以下 シール機能維持
	TIPボール弁	弁箱	レーティング設計	200°C 2Pd	許容圧力:1.32MPa[gage]	0.62MPa[gage](2Pd)以上 破断せず
		シール部	材料仕様	200°C 2Pd	200°C以上	200°C以上 シール機能維持