東海第二発電所　審査資料	
資料番号	PS-3-4　改 3
提出年月日	平成 29 年 9 月 14 日

東海第二発電所

原子炉格納容器の限界温度・圧力

（指摘事項に関する回答）

平成 29 年 9 月
日本原子力発電株式会社

本資料のうち，□は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

原子炉格納容器の限界温度・圧力に関するコメント回答資料

No.	番号	分類	審査会合コメント	審査会合日	備考
1	497-1	個社	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。	H29.8.22	回答(497-1)
2	497-2	個社	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β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。	H29.8.22	回答(497-2)
3	497-3	個社	トップヘッドフランジの定格締付量を［　　］で管理するとしている点について，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。	H29.8.22	回答(497-3)
4	497-4	個社	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も，対象とする改良 EPDM	H29.8.22	回答(497-4)

			が特定できるよう，考え方（定義）を説明すること。		
5	497-5	個社	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。	H29.8.22	回答(497-5)
6	497-6	個社	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。	H29.8.22	回答(497-6)
7	497-7	個社	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。	H29.8.22	回答(497-7)
8	497-8	個社	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）	H29.8.22	回答(497-8)

回答（497-1）

１．指摘事項

497-1	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。

回答（497-2）

１．指摘事項

497-2	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β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結果を活用した評価結果を示したところであるが，許容値の考え方についてはエンドースされた手法ではないことから，ＪＳＭＥ設計・建設規格の応力制限の考え方に基づく評価に見直すこととする。

評価方法は，既工事計画認可申請書の強度計算書の応力評価値を用いて，200℃，2Pd における発生応力が許容応力を満足することを確認する。

評価方法を見直した評価対象を表 1 に示すとともに，応力評価する項目を示す。

表１　評価対象部位整理表　（記号○：評価対象，－：評価不要）

評価対象	評価点	一次応力		一次＋二次応力
		P_m	P_L+P_b	P_L+P_b+Q
原子炉格納容器本体	①円筒部と円錐部の接合部	－※1	○	－※3
	②円錐部の角度変化部	－※1	○	－※3
	③円錐部の板厚変化部	－※1	○	－※3
	④円錐部と円筒部の接合部	－※1	○	－※3
	⑤円筒部（中央部）	○	－※2	－※3
	⑥原子炉格納容器基部	－※1	○	（○）※4
機器搬入用ハッチ	機器搬入用ハッチ取付部	－※1	○	－※3
サプレッション・チェンバアクセスハッチ	サプレッション・チェンバアクセスハッチ取付部	－※1	○	－※3

注記※1：構造不連続部であるため，P_L+P_bで評価するもの

※2：一般構造部であるため，P_mで評価するもの

※3：既工認時は，一次＋二次応力の評価も実施しているが，原子炉格納容器の限界圧力，温度においては繰り返し荷重を考慮する必要がないと考えられることから，設計・建設規格における運転状態Ⅳ，供用状態Ｄの考え方と同様に，疲労破壊を制限するための一次＋二次応力評価は省略されるもの

※4：※3 と同様に一次＋二次応力評価は省略されるものであるが，熱応力が発生する部位であることから，念のため確認するもの

応力評価は,既工認で得られている設計荷重を設計圧力から 2Pd へ換算し，得られた値を既工認の発生応力値へ係数倍を行い，許容値以内であることを確認する。以下に設計圧力から 2Pd へ換算した結果を示す。

設計条件	
既工認時の設計圧力	0.279MPa
最高使用圧力（0.31MPa）の 2 倍	0.62MPa
最高使用圧力の 2 倍　／　既工認時の設計圧力	2.223

評価対象のうち，原子炉格納容器本体の評価点である⑤円筒部（中央部）及び⑥原子炉格納容器基部は，重大事故時に想定されるサプレッション・チェンバ水位を考慮し，水頭圧を加味した応力評価を実施する。

上記の対象について，設計圧力から係数倍を算出した結果を以下に示す。

⑤円筒部（中央部）

設計条件	
既工認時の設計圧力	0.279MPa
最高使用圧力（0.31MPa）の 2 倍	0.62MPa
重大事故時の水頭圧	
（最高使用圧力の 2 倍＋重大事故時の水頭圧） ／　既工認時の設計圧力	

⑥原子炉格納容器基部

設計条件	
既工認時の設計圧力	0.279MPa
最高使用圧力（0.31MPa）の２倍	0.69MPa
重大事故時の水頭圧	
（最高使用圧力の２倍＋重大事故時の水頭圧） ／　既工認時の設計圧力	

（１）原子炉格納容器本体（一般構造部）

応力評価する評価点を図１に示す。

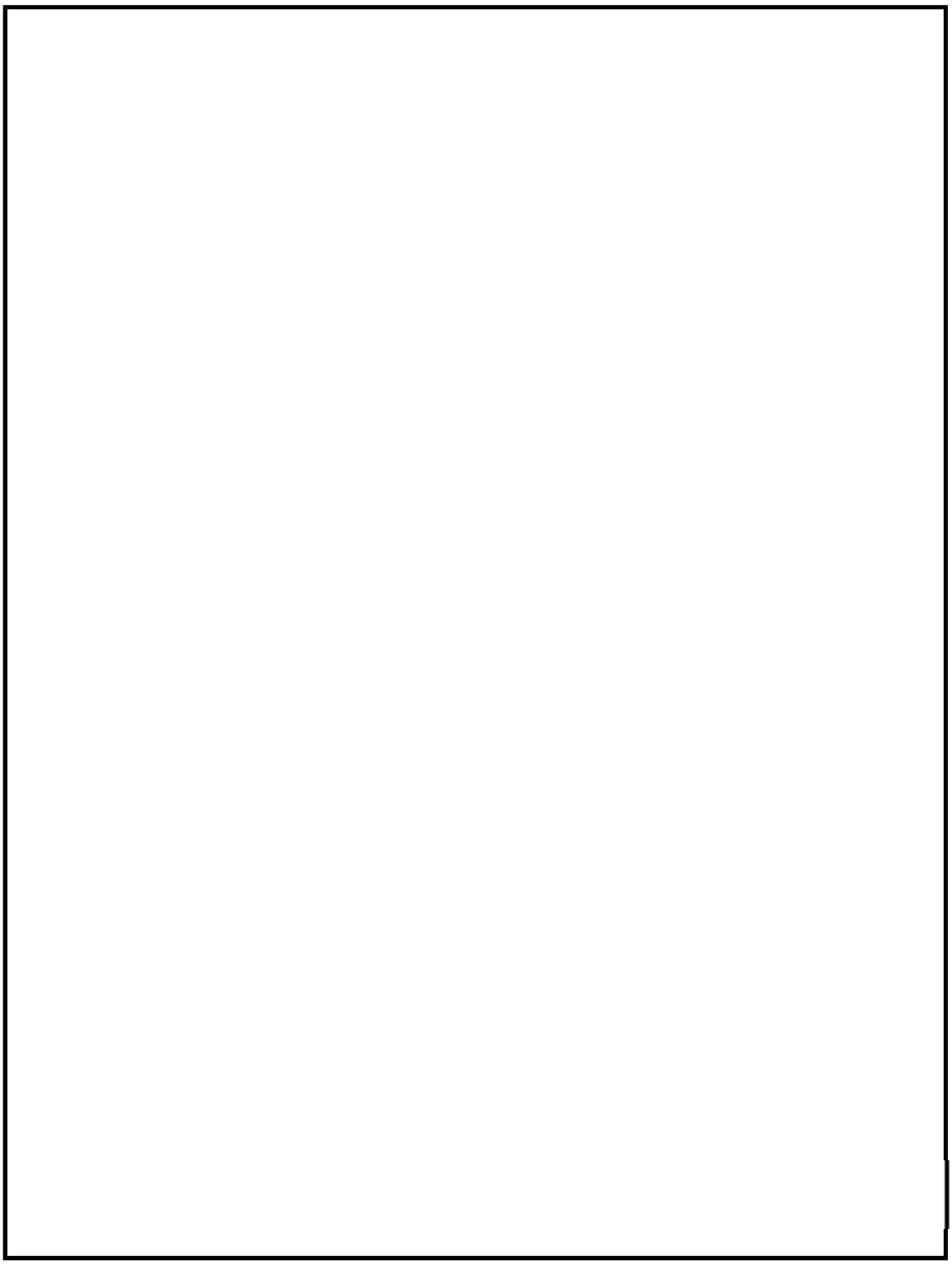


図１　原子炉格納容器の一般構造部の評価箇所

一般構造部の応力評価結果を以下に示す。発生応力は許容値を下回ることを確認した。よって，原子炉格納容器の一般構造部は，200℃，2Pd において，十分な強度を有する。

応力評価点番号	応力評価点	一次応力[MPa]				応力比
		P_m		P_L+P_b		
		応力強さ	許容値	応力強さ	許容値	
⑤	円筒部（中央部）		281	－	－	

許容値は，供用状態Ｄを適用し，2／3Su とする。

（２）原子炉格納容器本体（構造不連続部）

応力評価する評価点を図２に示す。

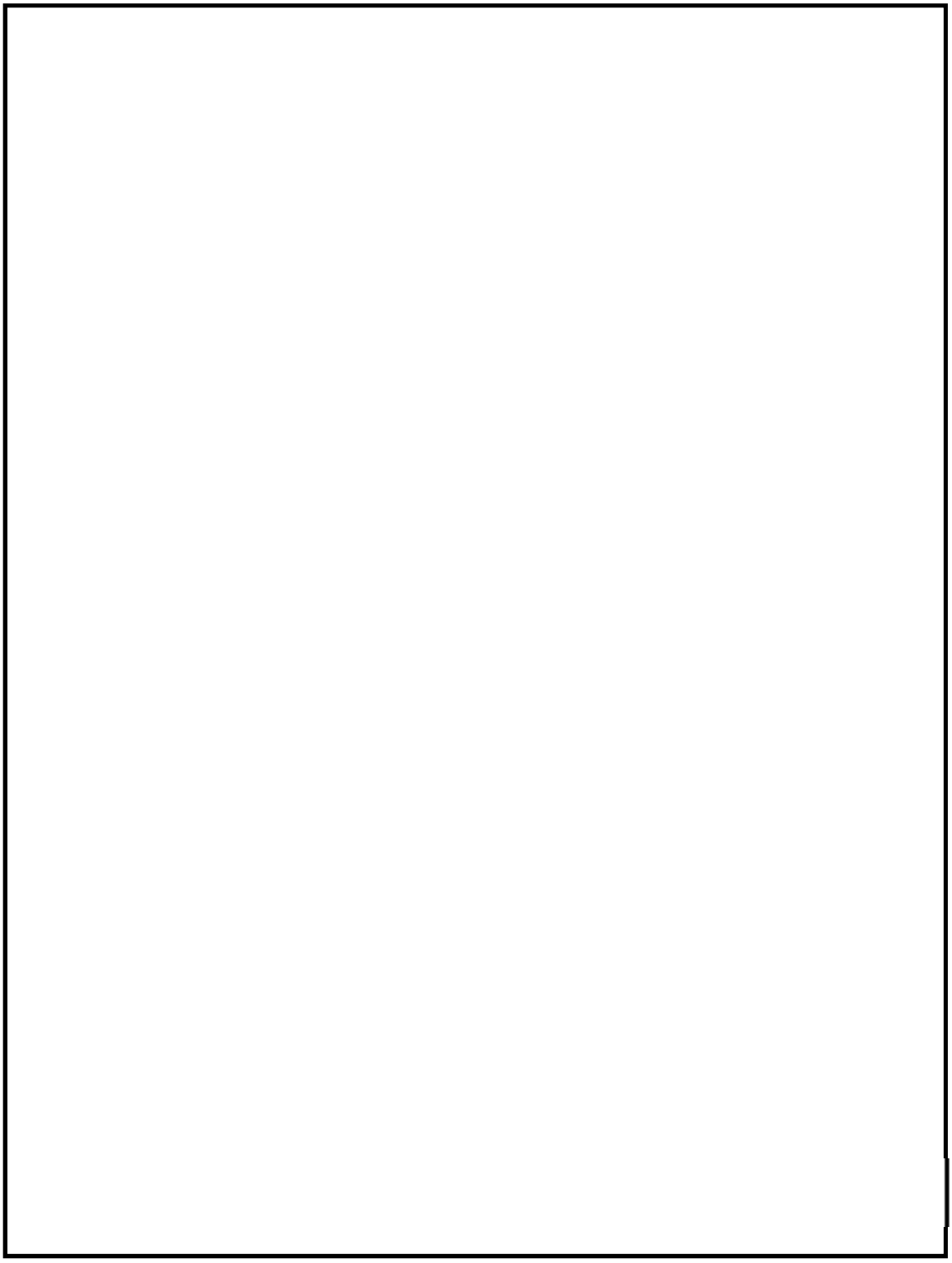


図２　原子炉格納容器の構造不連続部の評価箇所（1/2）

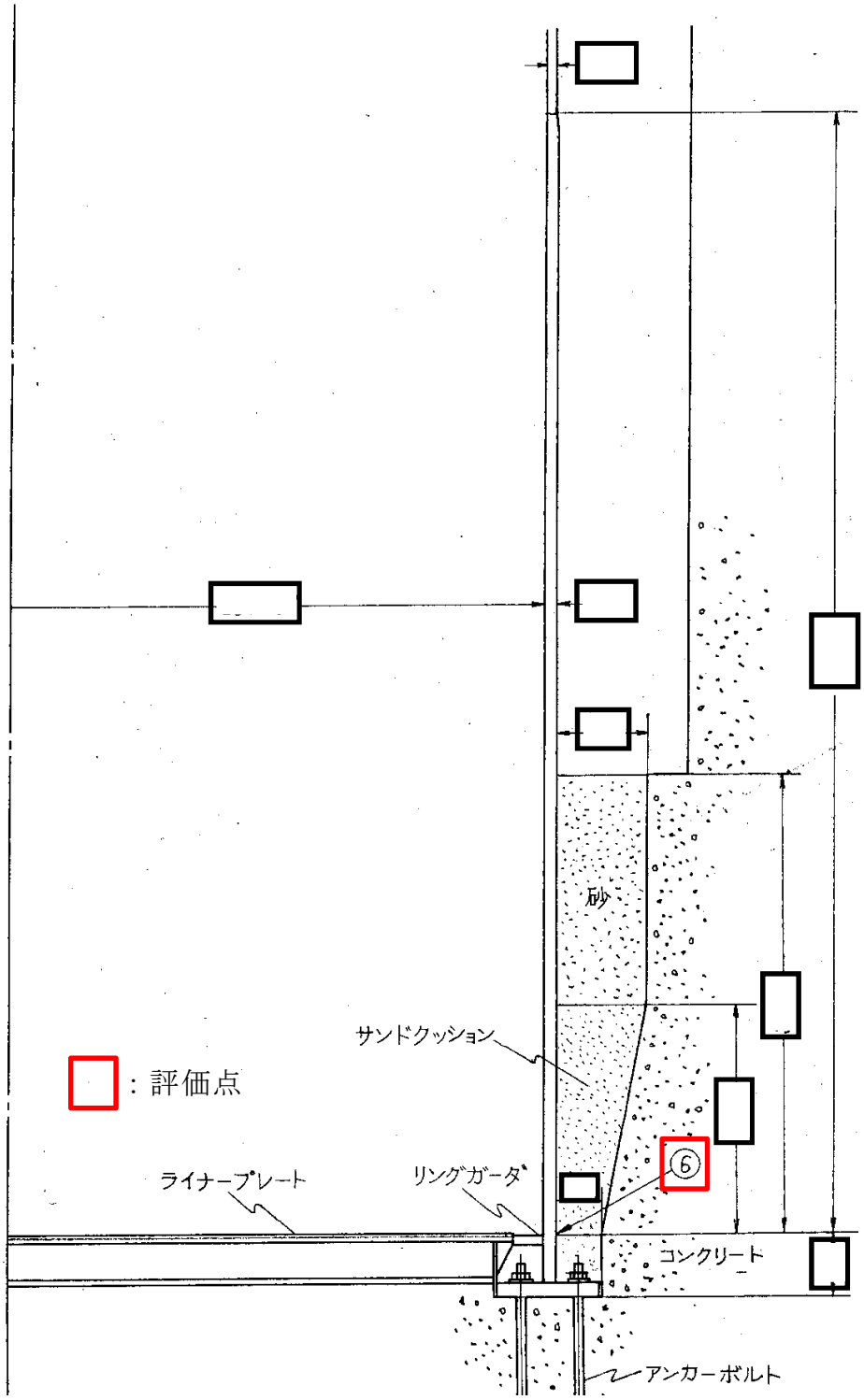


図２　原子炉格納容器の構造不連続部の評価箇所（2/2）

構造不連続部の応力評価結果を以下に示す。発生応力は，許容値を下回ることを確認した。よって，原子炉格納容器の構造不連続部は，200℃，2Pd において，十分な強度を有する。

応力評価点番号	応力評価点	一次応力[MPa]				応力比
		P_m		P_L+P_b		
		応力強さ	許容値	応力強さ	許容値	
①	円筒部と円錐部の接合部	－	－		422	
②	円錐部の角度変化部	－	－		422	
③	円錐部の板厚変化部	－	－		422	
④	円錐部と円筒部の接合部	－	－		422	
⑥	原子炉格納容器基部	－	－		422	

許容値は，供用状態Ｄを適用し，Su とする。

（３）機器搬入用ハッチ

応力評価する評価点を図３に示す。

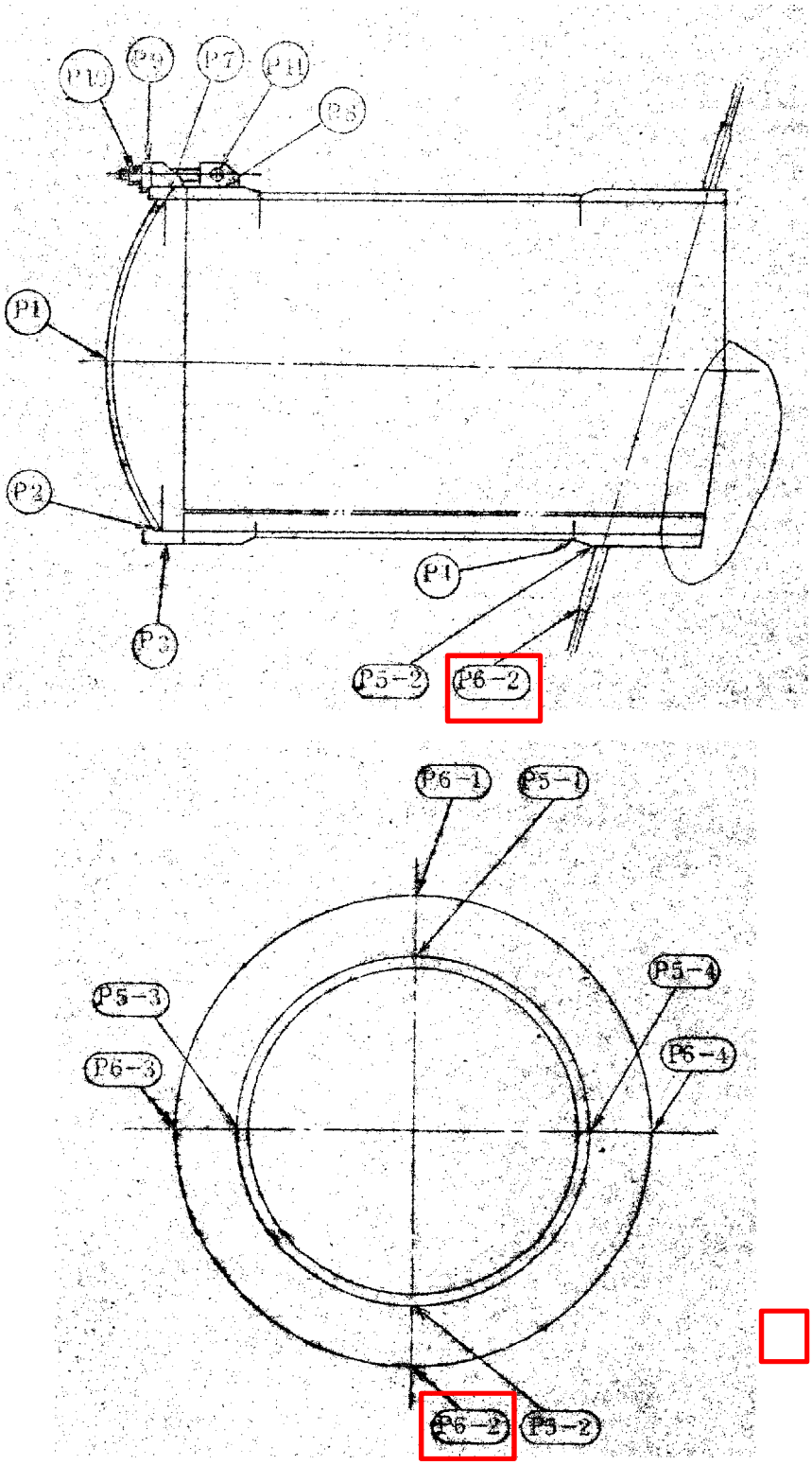


図３　機器搬入用ハッチの評価箇所

評価する対象は，機器搬入用ハッチの開口補強周りと原子炉格納容器本体との接合部であり，機器搬入用ハッチの自重及び開口部周辺の局所に生じる応力が発生する箇所である機器搬入用ハッチの取付部とした。なお，対象箇所は，既工認において，取付部で最も厳しい箇所を示している。

機器搬入用ハッチの応力評価結果を以下に示す。発生応力は許容値を下回ることを確認した。よって，機器搬入用ハッチは，200℃，2Pd において，十分な強度を有する。

応力評価点番号	応力評価点	一次応力[MPa]				応力比
		P_m		P_L+P_b		
		応力強さ	許容値	応力強さ	許容値	
P6-2	機器搬入用ハッチ取付部	－	－		422	

許容値は，供用状態Ｄを適用し，Su とする。

（４）サプレッション・チェンバアクセスハッチ

応力評価する評価点を図４に示す。

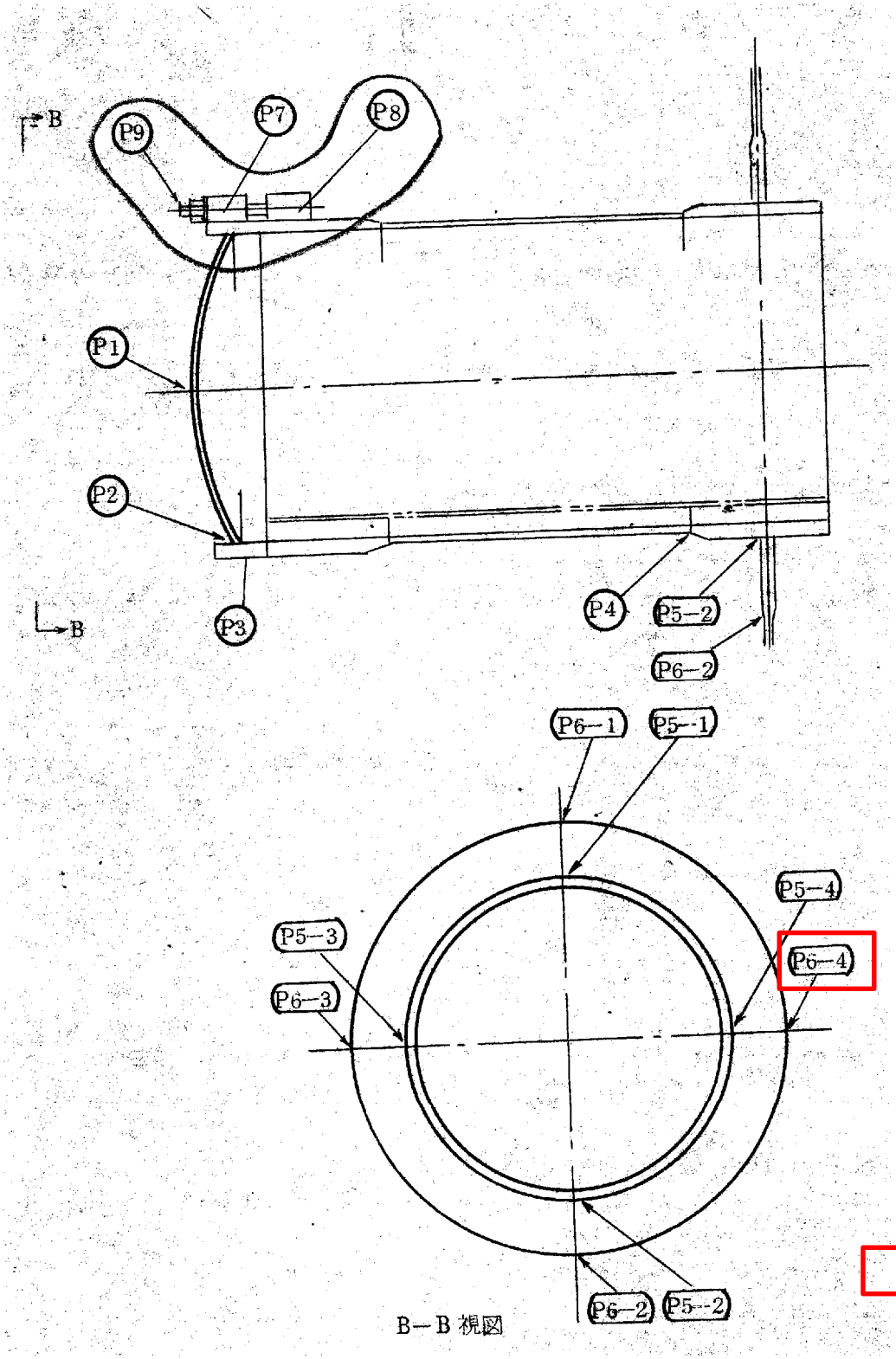


図４　サプレッション・チェンバアクセスハッチの評価箇所

評価する対象は，サプレッション・チェンバアクセスハッチの開口補強周りと原子炉格納容器本体との接合部であり，サプレッション・チェンバアクセスハッチの自重及び開口部周辺の局所に生じる応力が発生する箇所であるサプレッション・チェンバアクセスハッチ取付部とした。評価対象箇所を第 4-2 図に示す。なお，対象箇所は，既工認において，取付部で最も厳しい箇所を示している。

サプレッション・チェンバアクセスハッチの応力評価結果を以下に示す。発生応力は許容値を下回ることを確認した。よって，サプレッション・チェンバアクセスハッチは，200℃，2Pd において，十分な強度を有する。

応力評価点番号	応力評価点	一次応力[MPa]				応力比
		P_m		P_L+P_b		
		応力強さ	許容値	応力強さ	許容値	
P6-4	サプレッション・チェンバアクセスハッチ取付部	－	－		422	

許容値は，供用状態Ｄを適用し，Su とする。

回答（497-3）

１．指摘事項

497-3	トップヘッドフランジの定格締付量を［　　］で管理するとしている点について，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

定期検査におけるトップヘッドフランジ閉鎖時には，決められたトルクでボルトを締め付けることが要領書で定められていること，異物の噛み込みや予期せぬフランジの変形等による隙間が生じていないことを［　　］の隙間ゲージが挿入できないことをもって確認していることから，作業者の技量によってガスケットの押し込み量が変動することは考え難く，作業管理における品質は維持できると考える。トップヘッドフランジ部の構造を図１に示す。上蓋側フランジと本体側フランジのフランジ面を隙間が無いように据え付けることで，タング（突起）によるガスケット押し込み量［　　］が確保出来る構造となっている。

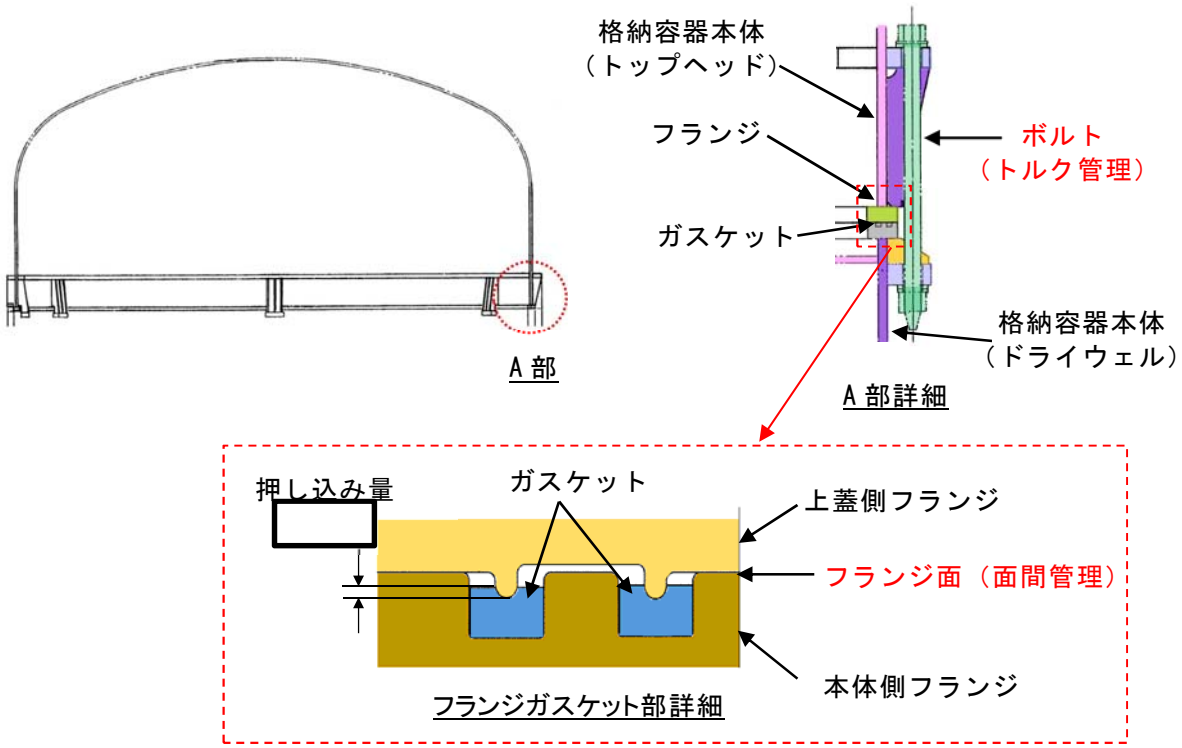


図１　トップヘッドフランジ部の構造

また，トップヘッドフランジの溝及びタング（突起）については，定期検査の開放時に手入れを実施しているが，溝やタングを傷つけないような素材で手入れを行っていること，外観目視点検を開放の都度行い傷や変形がないことを確認していること，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していることから，トップヘッドフランジの溝及びタングは均一性を維持していると考える。原子炉格納容器全体漏えい率検査実績及びトップヘッドフランジ部リークテスト実績を図２，図３に示す。

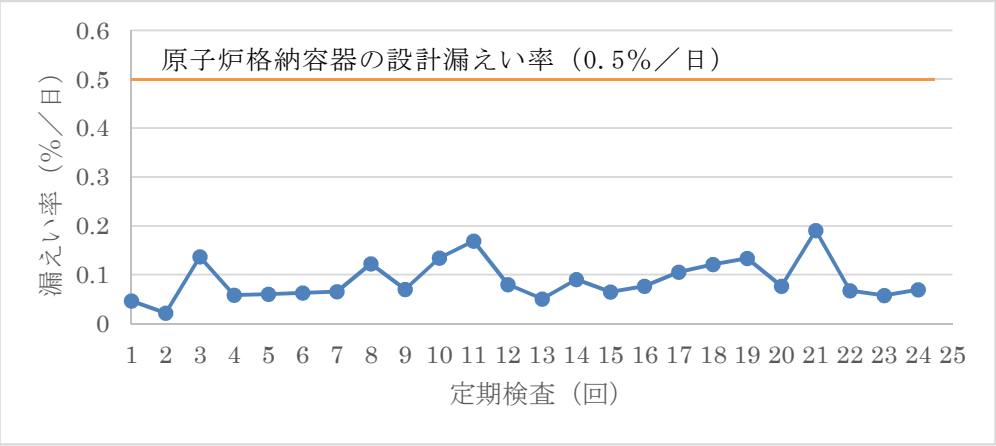


図２　原子炉格納容器全体漏えい率検査実績

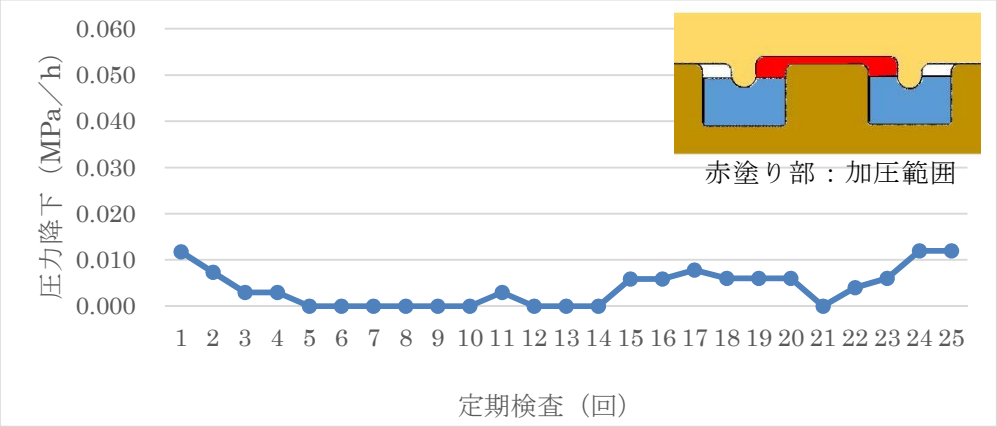


図３　トップヘッドフランジ部リークテスト実績

回答（497-4）

１．指摘事項

497-4	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も，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 [redacted] を採用する計画である。

改良ＥＰＤM製シール材の開発経緯を以下に示す。

・従来，格納容器のガスケット材料として使用していたシリコンゴムは，使用温度範囲が－60℃～＋200℃であり，耐熱性としては，従来のＥＰＤM製シール材の使用温度範囲－50℃～＋150℃よりも若干高いものの，既往の試験結果から高温蒸気環境での劣化が確認されていた。

・従来のＥＰＤM製シール材はシリコンゴムに比較して高温蒸気に強い材料であったが，更なる高耐熱化を目的に材料の改良を進め，改良ＥＰＤM製シール材を開発した。

改良ＥＰＤM製シール材については，ガスケットメーカにおいて，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 [redacted] 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。

東海第二発電所に採用予定の改良ＥＰＤM製シール材 [redacted] については，ガスケットメーカ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，事故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ている。

また，改良ＥＰＤＭ製シール材は，従来のＥＰＤＭ製シール材と同様，ガスケットメーカにて標準の型番品 [redacted] として管理されているものであり，当該品を特定可能であることから，メーカ型番を指定することで今回シール機能が確認されたものを確実に調達することが可能である。

なお，今後の技術開発により，より高い信頼性があるシール材が開発された場合においては，今回と同様に圧縮永久ひずみ試験等を実施し耐性評価を行うことで，実機フランジへの適用性について確認する。

回答（497-5）

１．指摘事項

497-5	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。

２．回答

ゴム材料の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ー常温，高温及び低温における圧縮永久ひずみの求め方」に基づき実施している。ＪＩＳ Ｋ 6262 では，3 個の試験片を用いて同時測定した結果の平均値を圧縮永久ひずみ率として評価することが定められており，それに従い実施した結果であるため，開口量評価で用いているひずみ率[　]は妥当と考えるが，より保守的なひずみ率の評価を行うため，類似の条件にて実施した試験結果を抽出し，試験片数を増やして統計学的なばらつきを考慮した圧縮永久ひずみ率を算出した。抽出したデータを追加した統計学的なばらつきの評価結果を表 1 に示す。抽出したデータは No.2～4 の 3 回分（9 個）であり，雰囲気，温度・劣化時間，照射時間を変えて実施した試験のうち，雰囲気，温度・劣化時間が同一であるものを選定した。

表 1 に示すとおり，試験回数 4 回分，合計 12 個の試験データに基づく統計学的なばらつきを考慮したひずみ率を算出した結果，圧縮永久ひずみ率の最大値は[　]であった。この値を用いた場合であってもシール機能が維持可能であることを別途，開口量評価で確認する。

表１　圧縮永久ひずみ試験結果

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

注記：試験条件は以下の通り

雰囲気：蒸気環境（試験 No.1～4）

温度・劣化時間：200℃・168hr（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（試験 No.1～4）

試験 No.1 は，ひずみ率を設定した試験データである。

ひずみ率のばらつきについては，改良ＥＰＤＭ製のメーカーカタログ値として，圧縮永久ひずみ（試験条件 ）の記載があるが，この値は，程度のばらつきで得られた試験結果である。

一方，本評価における圧縮永久ひずみは，重大事故環境を考慮したひずみ率を確認するため，原子力プラント特有の条件として［　　］の放射線量を照射した後，圧縮状態で 200℃の飽和蒸気環境にて 168 時間劣化させた状態での測定値であり，ガスケットの使用温度範囲外で実施した過酷な環境下での試験であることから，ひずみ率のばらつきの幅が大きく出たものと考えられる。

回答（497-6）

１．指摘事項

497-6	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については，フランジ構造に関わらず圧縮状態で使用される静的シール部におけるガスケット単体の劣化度（ひずみ率）から復元量を確認するものであり，フランジ構造の違いは構造部の開口量計算において評価しているものと考える。

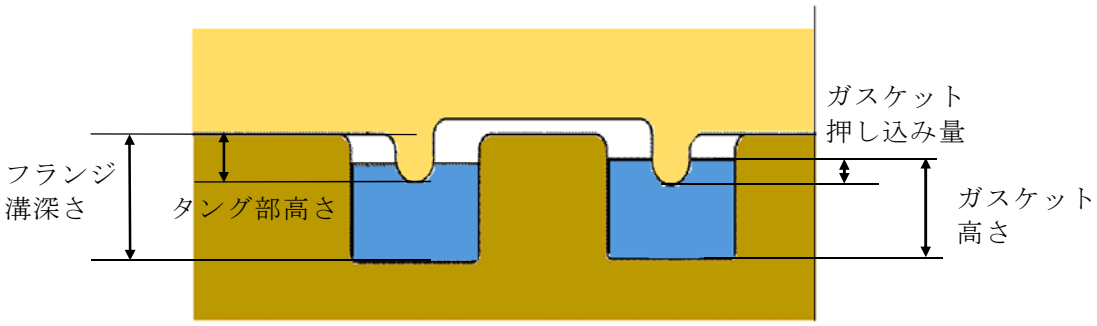
実機フランジ模擬試験については，圧力の上昇に伴い試験体を開口させているわけではなく，内圧上昇後にフランジが開口した状態を想定し，ガスケットの復元量とフランジの開口量が等しい状態（押し込み量が 0mm で接している状態）でのシール性を確認しているものであり，フランジ構造による開き方向の違いは構造部の開口量計算において評価しているものと考える。

角型断面ガスケットを用いるボルト締めフランジのガスケットの圧縮率を表１に示す。フランジガスケット部はガスケットの圧縮率がほぼ一定値となるように設計されている。これに対して，本評価で実施した圧縮永久ひずみ試験においても試験片の圧縮率は[　　]としており，その他試験時の環境温度・雰囲気については実機におけるシール材の環境を模擬している。圧縮率が[　　]よりも小さいものがあるが，圧縮永久ひずみ試験は 25%圧縮にて実施しているため,使用環境より大きな押し込みであり厳しい条件となっている。

したがって，圧縮永久ひずみ試験により得られた材料の復元特性を実機の開口量評価に用いることは妥当である。

表１　角型断面ガスケットを用いるボルト締めフランジのガスケットの圧縮率

設備名	フランジ溝深さ	タング部高さ	ガスケット高さ	ガスケット押し込み量	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％

回答（497-7）

１．指摘事項

497-7	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

電気配線貫通部のモジュール部に対するシール機能評価については，「電気ペネ共研の試験結果を用いた評価」及び「過去の環境試験結果を用いた評価」を行っている。

このうち，「電気ペネ共研の試験結果を用いた評価」については，加速熱劣化した際の実環境条件における換算時間を予測式であるアレニウス式を用いて評価することにより，いずれの評価においても重大事故環境下で 7 日間以上の健全性を有していることを確認しており，いずれの評価も有効であると考えるが，安全側に評価する観点から「過去の環境試験結果を用いた評価」を代表的な知見として，耐環境性を評価している。

１．電気ペネ共研の試験結果を用いた評価

電気ペネ共研において，LOCA 時の圧力，温度条件を超える条件下での電気配線貫通部の知見を得るため，東海第二発電所を含む国内 BWR 電力実機の電気配線貫通部の構造を反映した試験体を用い，電気配線貫通部モジュールの気密性能について検証を行っている。図 1 に電気ペネ共研の試験概要図を，表 1 及び図 2，図 3 に試験結果を示す。

試験結果より，高圧用モジュールのＥＰゴムシール部は 194℃／62 時間，低圧用モジュールの樹脂シール部は 137℃／62 時間の熱劣化に対して，漏

えいがないことが確認できている。

なお，本試験においては，放射線による照射が行われていないが，電気ペネトレーションの二次シール部は格納容器本体から離れた位置に取り付けられ，スリーブ周囲は遮へい壁で覆われていることから，温度と同様に格納容器内の積算線量に比べ小さいものと考える。

したがって，実機においてもシール部の耐性に対し有意な影響を及ぼさない範囲と考えられるため，シール部の劣化要因としては温度が主要なパラメータであると考える。

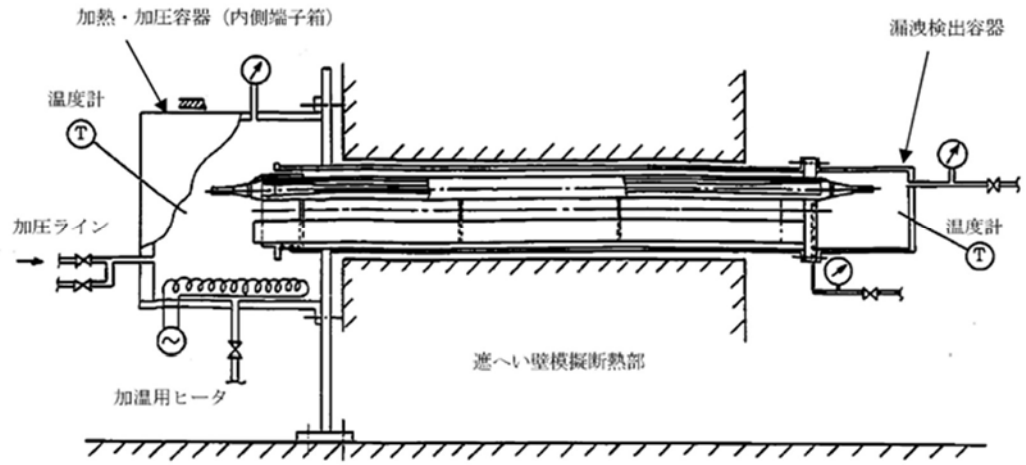


図１　電気ペネ共研の試験概要図

表１　電気ペネ共研の試験結果

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

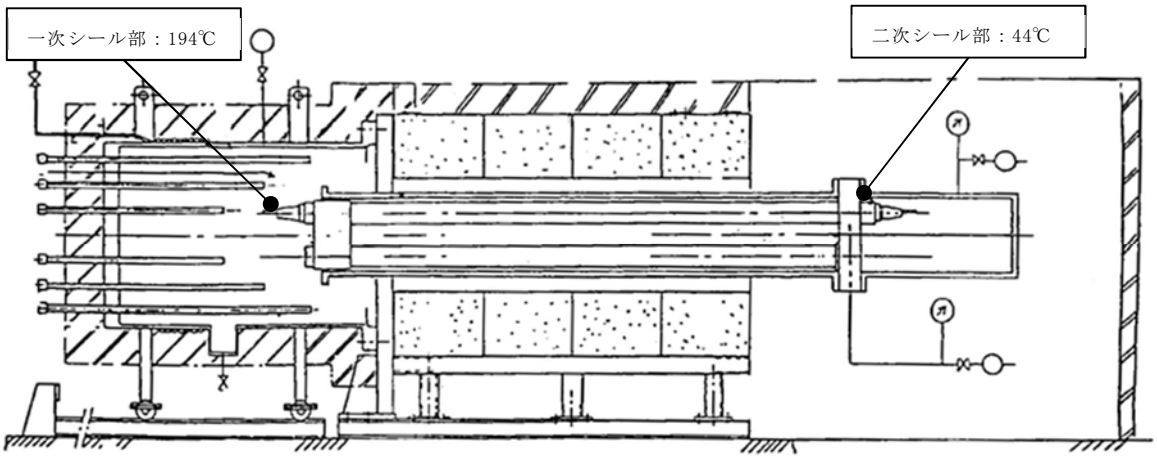


図 2　高圧用モジュール試験体　温度分布図

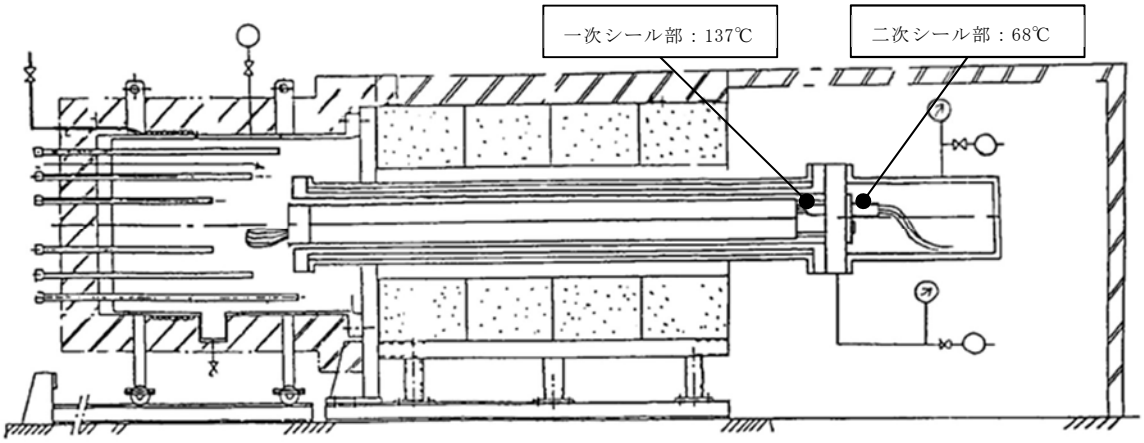


図 3　低圧用モジュール試験体　温度分布図

また，試験結果の二次シール部の温度（高圧用 44℃，低圧用 68℃）に対して，余裕を考慮し保守的に 100℃と想定した場合においても，一次シール部の熱劣化条件（高圧用 194℃／62 時間，低圧用 137℃／62 時間）に対してアレニウス式により活性化エネルギ（15kcal／mol）を用いて換算評価を行うと，高圧用 3,640 時間，低圧用 384 時間となり 168 時間を上回った。

なお，有機物であるシール材の活性化エネルギについては「原子力発電所のケーブル経年劣化ガイド（JNES-RE-2013-2049)」にて劣化処理条件と

して設定されている値（15kcal／mol）を使用している。この値は，過去の試験結果等におけるシール材の活性化エネルギに比べて保守的な値であることを確認している。

２．過去の環境試験における評価

過去の電気配線貫通部の環境試験では，電気配線貫通部（低電圧用）及び電気配線貫通部（高電圧用）を対象として，冷却材喪失事故模擬試験が実施されており，健全性が確認されている。図 4 及び図 5 に試験装置の概要図，図 6 に電気配線貫通部（低電圧用）及び電気配線貫通部（高電圧用）の二次シール部の温度，環境試験温度を示す。

図 4 及び図 5 に示すとおり，試験においては電気ペネモジュールとカバーのみの構成であり，実機に比べ簡略的な構造である。そのため，実機に比べカバー外側からの入熱量が多く，結果として二次シール部の温度が実機に比べ高くなる傾向にあるものと考えられる。一方，電気ペネ共研における試験は電気ペネトレーションの接続箱内を加熱する構造であり，モジュール部への伝熱の観点からはより実機に即した構造であると言える。

したがって，格納容器内環境が 200℃となった場合の実際の温度は電気ペネ共研の温度（高電圧用 44℃，低電圧用 68℃）が適切であると考えていること及び本試験において原子炉格納容器内を模擬した電気ペネ共研の試験（二次シール部において高電圧用 44℃，低電圧用 68℃）よりも厳しい温度条件下で，13 日間の健全性が確認された結果からも，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。

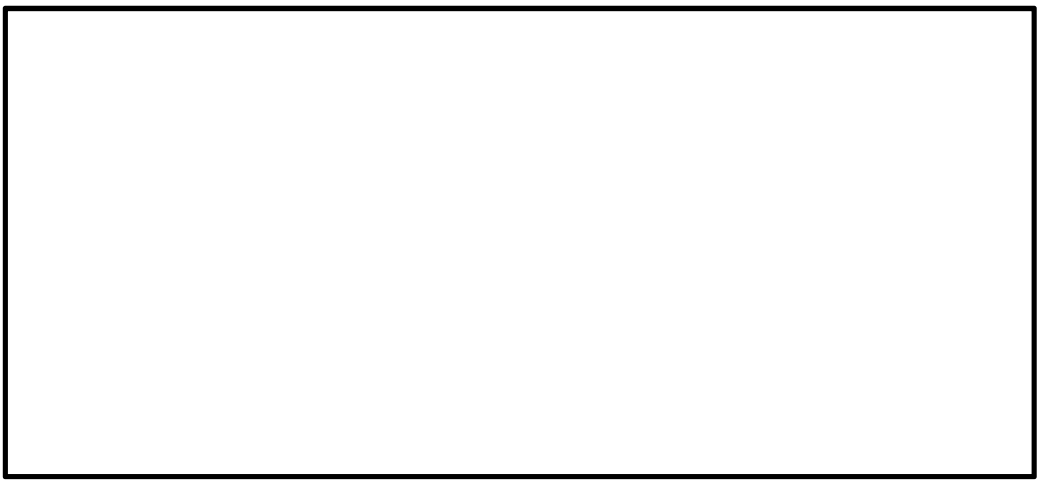


図 4　冷却材喪失事故模擬試験の試験概要図（高電圧用）

図 5　冷却材喪失事故模擬試験の試験概要図（低電圧用）

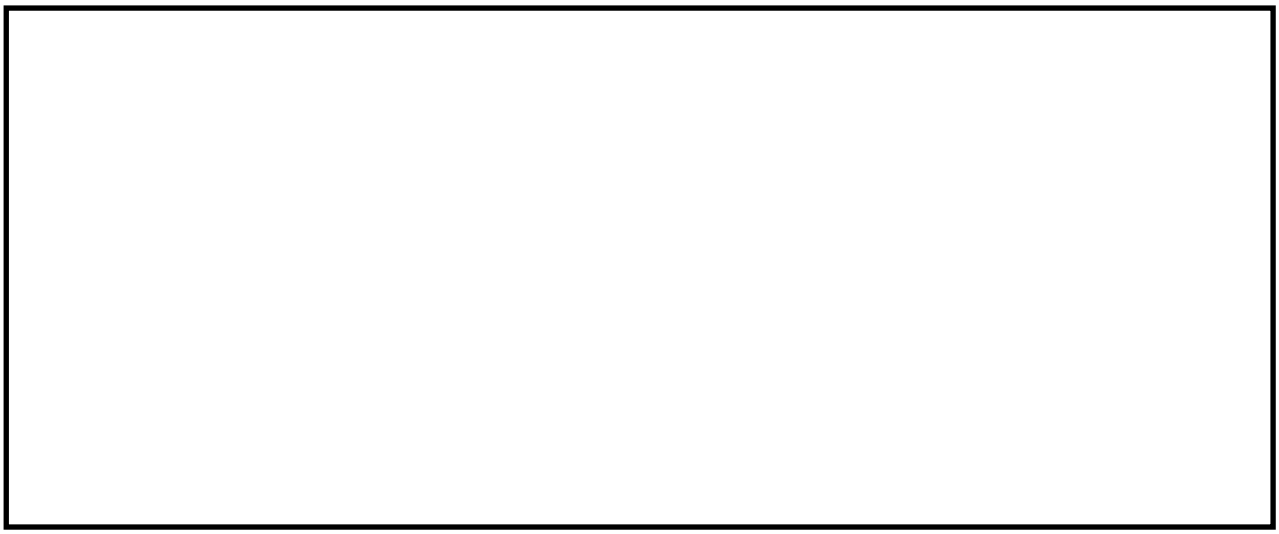


図6　モジュール型電気配線貫通部の既往環境試験と簡易的な温度評価結果

なお，図 6 で示した試験については，経年劣化を踏まえた冷却材喪失事故模擬試験であり，劣化を考慮して表 2 に示す試験を実施している。

表2　劣化を考慮した試験方法

No	試験項目	試験方法
1	サーマルサイクル試験	ペネトレーションを冷熱装置内に設置し，60 サイクルのサーマルサイクルを放射線照射試験の前後2回実施。1サイクルは[redacted]を[redacted]時間で変化させている。
2	放射線照射試験	ペネトレーションが40 年間の運転期間及び冷却材喪失事故時に受ける放射線を考慮し照射線量[redacted]として試験を実施。
3	熱劣化試験	加熱促進により，40 年間に相当する加速熱劣化として[redacted]を加える。

これらのことから，原子炉格納容器に使用されているシール材は，運転中の環境を考慮しても事故時に耐漏えい性能を確保されるものと考えられる。

回答（497-8）

１．指摘事項

497-8	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シール部について，製作公差を考慮しても閉じ込め機能が維持できることを以下のとおり評価した。評価にあたっては，フランジ部及びガスケットの製作公差，シール部の構成材料の熱膨張，材料物性のばらつきを精査するとともに，過度に保守的にならないよう公差の重ね合わせの考え方を用い，開口量評価を実施した。

表１に評価の考え方を示す。

表１　シール部の構造，寸法及び材料のばらつきを精査した評価の考え方

精査項目	内容	考え方
改良型ＥＰＤＭの製作公差	ガスケット設計の変更	・トップヘッドフランジ部のガスケットについて，製作公差の最小側を 0 と設計変更する。
シール部の公差	二乗和平方根の採用	・機器の寸法公差は，一般的に独立した値を組み合わせて使用する場合，各々の寸法公差の二乗和平方根を用いて，算出する。また，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。よって，シール部の寸法公差は，二乗和平方根を用いることに変更した。
シール部の構成材料の熱膨張	材料の熱膨張を考慮	・開口量評価は，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。 ・熱膨張によってガスケットとフランジの相対距離が近づく状態を考慮する。
ひずみ率	材料物性のばらつきの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

トップヘッドフランジ及びガスケットの製作公差を考慮したガスケットの押し込み量を表 2 に示す。

表 2　製作公差を考慮したガスケットの押し込み量

部位	公称値	公差（絶対値）
フランジ溝深さ		
タング部高さ		
ガスケット高さ		
バックアップシール厚さ		
ガスケット押し込み量		

表 2 より，製作公差を考慮したガスケットの押し込み量は，

□（公称値）－□（公差）＝□と評価できる。

また，各部位の熱膨張を考慮した寸法を表 3 に示す。

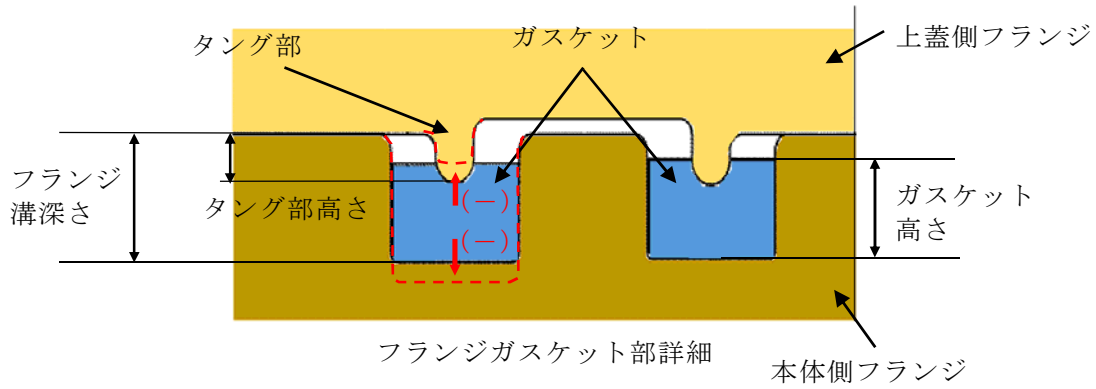


図 1　製作公差の概要（赤点線：製作公差のイメージ）

表３　各部位の熱膨張を考慮した寸法

部位	基準寸法	熱膨張変位
フランジ溝深さ		
タング部高さ		
ガスケット高さ		
熱膨張変位合計		

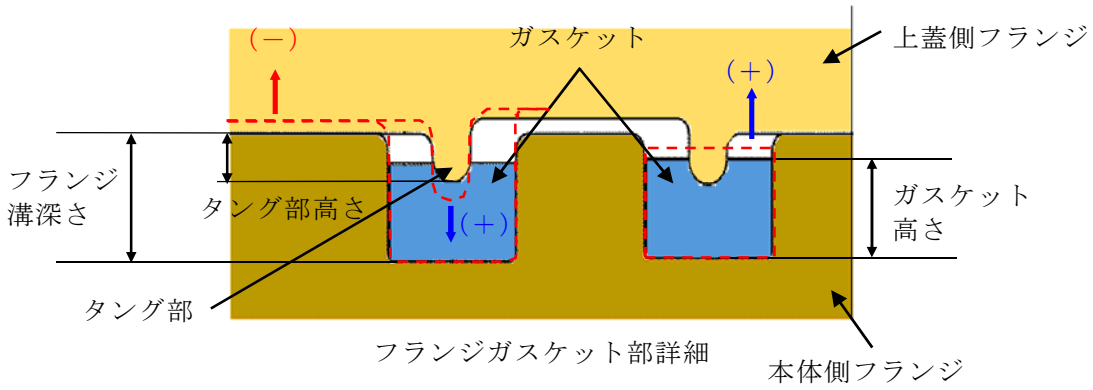


図２　熱膨張変位の概要（赤点線：熱膨張のイメージ）

熱膨張量ΔＬの評価式は以下の通り

$$\Delta L = L \times \alpha \times \Delta t$$

ここに，

Ｌ：基準寸法(mm)

α：材料の熱膨張係数(mm/mm･℃)

鋼材＝11.85×10^{-6}，ガスケット＝

Δｔ：据付状態から評価温度までの温度差(℃)(＝200－　＝　)

表３より，熱膨張を考慮したガスケットの押し込み量は，　＋　

＝　と評価できる。

これらの結果から，シール部の構造，寸法及び材料のばらつきを考慮した評価は表 4 の通りとなり，これらのばらつきを保守側に積み上げて評価した場合においても，内側・外側ともシール機能は維持されることを確認した。

表 4　シール部の構造，寸法及び材料のばらつきを考慮した評価結果

評価		押し込み量	ひずみ率	許容 開口量	開口量 (2Pd)	評価結果
公称値	内側					○
	外側					○
評価値	内側					○
	外側					○

なお，原子炉格納容器のトップフランジについては，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，内側ガスケットと外側ガスケットの間に加圧空間を有した二重シール構造を採用している。格納容器バウンダリに要求される事故時の閉じ込め機能維持の観点からは，内外どちらかのシール部の機能が保たれていればよく，さらに一方のシール機能が喪失するまではもう一方のシール部は直接事故時環境に晒されるものでないため，本評価において示した外側シール部の閉じ込め機能維持の評価は，実際よりも十分に保守的な評価であると言える。

トップヘッドフランジ以外のフランジについて，製作公差を考慮した開口量評価を実施した。評価結果は，表 5 から表 16 のとおり，製作公差を考慮しても閉じ込め機能が維持できる。

表 5　機器搬入用ハッチのガスケット押し込み量

部位	公称値	公差（絶対値）
フランジ溝深さ		
タング部高さ		
ガスケット高さ		
バックアップシール厚さ	－	0.01mm
ガスケット押し込み量		

表 6　機器搬入用ハッチの各部位の熱膨張を考慮した寸法

部位	基準寸法	熱膨張変位
フランジ溝深さ		
タング部高さ		
ガスケット高さ		
熱膨張変位合計		

表 7　機器搬入用ハッチの開口量評価結果

評価		押し込み量	ひずみ率	許容開口量	開口量	評価結果
公称値	内側					○
	外側					○
評価値	内側					○
	外側					○

表 8　サプレッション・チェンバアクセスハッチのガスケット押し込み量

部位	公称値	公差（絶対値）
フランジ溝深さ		
タング部高さ		
ガスケット高さ		
バックアップシール厚さ	－	0.01mm
ガスケット押し込み量		

表 9　サプレッション・チェンバアクセスハッチの各部位の熱膨張を考慮した寸法

部位	基準寸法	熱膨張変位
フランジ溝深さ		
タング部高さ		
ガスケット高さ		
熱膨張変位合計		

表 10　サプレッション・チェンバアクセスハッチの開口量評価結果

評価		押し込み量	ひずみ率	許容開口量	開口量	評価結果
公称値	内側					○
	外側					○
評価値	内側					○
	外側					○

表 11　所員用エアロックのガスケット押し込み量

部位	公称値	公差（絶対値）
フランジ溝深さ		
タング部高さ		
ガスケット高さ		
ガスケット押し込み量		

表 12　所員用エアロックの各部位の熱膨張を考慮した寸法

部位	基準寸法	熱膨張変位
フランジ溝深さ		
タング部高さ		
ガスケット高さ		
熱膨張変位合計		

表 13　所員用エアロックの開口量評価結果

評価	押し込み量	ひずみ率	許容開口量	開口量	評価結果
公称値					○
評価値					○

表 14　閉止板（X-28）のガスケット押し込み量

部位	公称値	公差（絶対値）
フランジ溝深さ		
タング部高さ		
ガスケット高さ		
ガスケット押し込み量		

表 15　閉止板（X-28）の各部位の熱膨張を考慮した寸法

部位	基準寸法	熱膨張変位
フランジ溝深さ		
タング部高さ		
ガスケット高さ		
熱膨張変位合計		

表 16　閉止板（X-28）の開口量評価結果

評価		押し込み量	ひずみ率	許容開口量	開口量	評価結果
公称値	内側					○
	外側					○
評価値	内側					○
	外側					○

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，内側ガスケット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，製作公差による影響を確認した。サプレッション・チェンバアクセスハッチの構造図を図 3 に，フランジ部の寸法測定結果を表 17 に示す。

サプレッション･チェンバアクセスハッチの実機フランジ寸法測定の結果，設計値（公称値 [redacted]）に対し，シール部が開口となる方向の製作寸法誤差は [redacted] 以内であった。

なお，トップフランジについても，サプレッション・チェンバアクセスハッチと同様の機械加工がされていることから，製作寸法の誤差は同等であると考える。

サプレッション・チェンバアクセスハッチの実機フランジ寸法測定結果をもとにトップヘッドフランジの開口量評価を行った結果，表 18 に示すとおり，許容開口量は [redacted] であり，開口量に裕度があるものと考える。

また，トップヘッドフランジのガスケットについては，[redacted] 程度の増厚ができる見通しである。また実機のサプレッション・チェンバアクセスハッチの寸法を測定した結果，シール部の公差は [redacted] であり，設計公差に比べ機械加工精度が高いことを確認した。

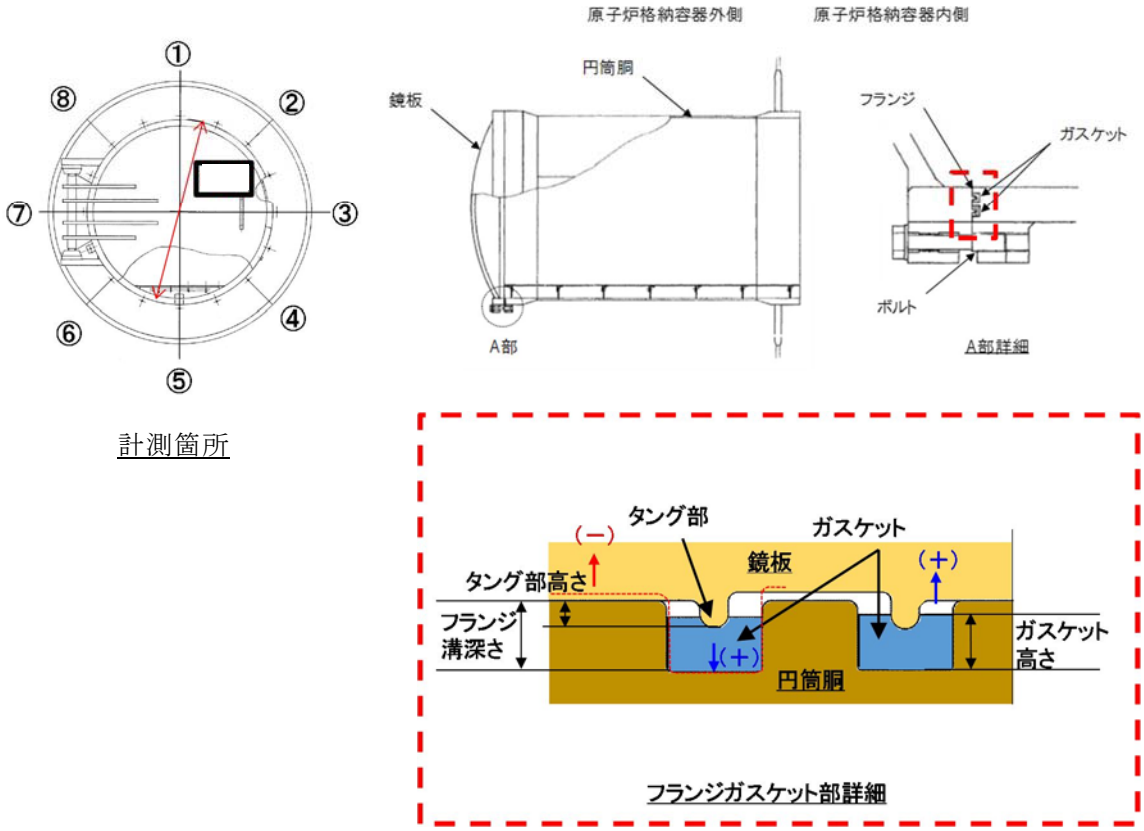


図 3　サプレッション・チェンバアクセスハッチ　構造図

表 17　サプレッション・チェンバアクセスハッチフランジ部計測結果

計測箇所	設計値［mm］	計測結果　［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																	

表 18　トップヘッドフランジ開口量評価

	押し込み量（公称値）	シール部の公差	熱膨張	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						

＜評価条件＞
・ガスケット寸法：
・シール部の公差：S/C アクセスハッチの実測値使用
　バックアップシール有

なお，開口量評価においては，以下の保守性がある。

＜発生値（開口量）側＞

- 実際の事故進展によらず 200℃，2Pd 一定の条件下での開口量としている。
- 構造物に設けられているリブを無視するなど，実際の構造物よりも剛性を低く見積もっている。
- 材料物性値を規格値ベースとすることで，強度を低めに見積もっている。
- フランジが閉じる方向に作用する自重を無視している。
- 解析上はガスケットをモデル化していないため，既往知見で得られたガスケット自身の変形によるセルフシール性については評価に反映されない。

＜判定基準側＞

- 実際の事故進展によらず 200℃，168hr 一定の条件下でのひずみ率に基づく許容値としている。
- 実機のガスケットは底面・側面が溝と接しているのに対し，圧縮永久ひずみ試験は，試験体の側面全体が直接蒸気環境下に晒されるため，ひずみ試験のほうが材料の劣化を保守側に見積もっている。
- 実機ガスケット全体のうち，タング部で圧縮している部分は局所的であり，圧縮されていない（ひずみが残っていない）部分が大部分残存しているため，タング押し込み部の復元量は，ひずみが残っていない部分のゴム弾性の寄与も想定される。