

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℃、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℃、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。)

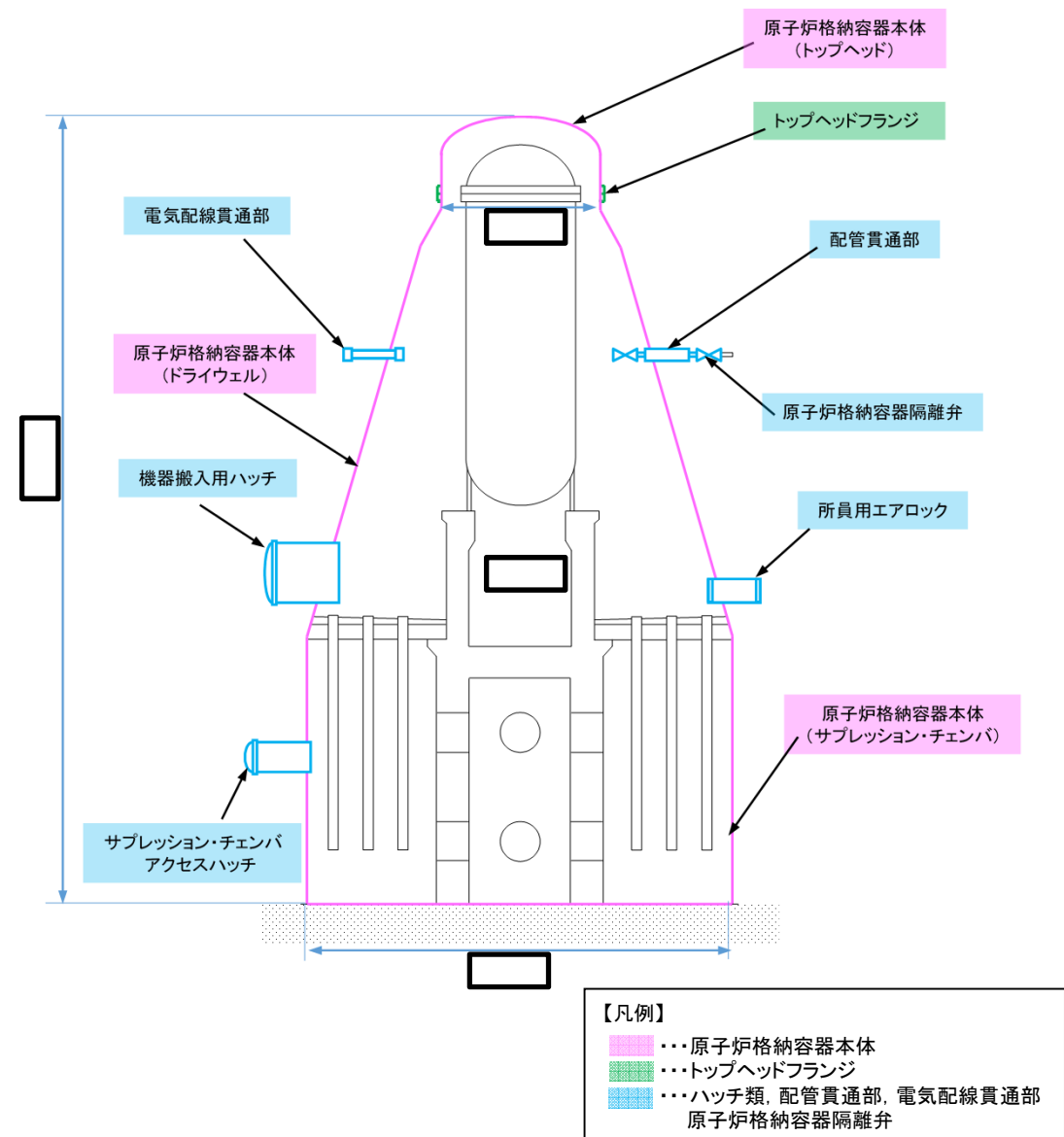
1. 評価の概要

○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。

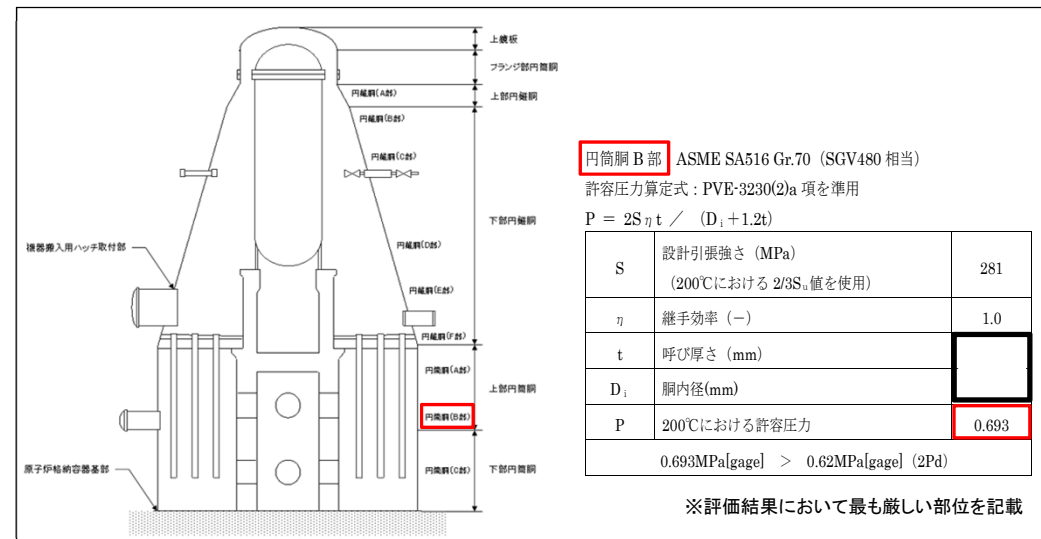
○評価対象と評価方法

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	- 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を活用した評価

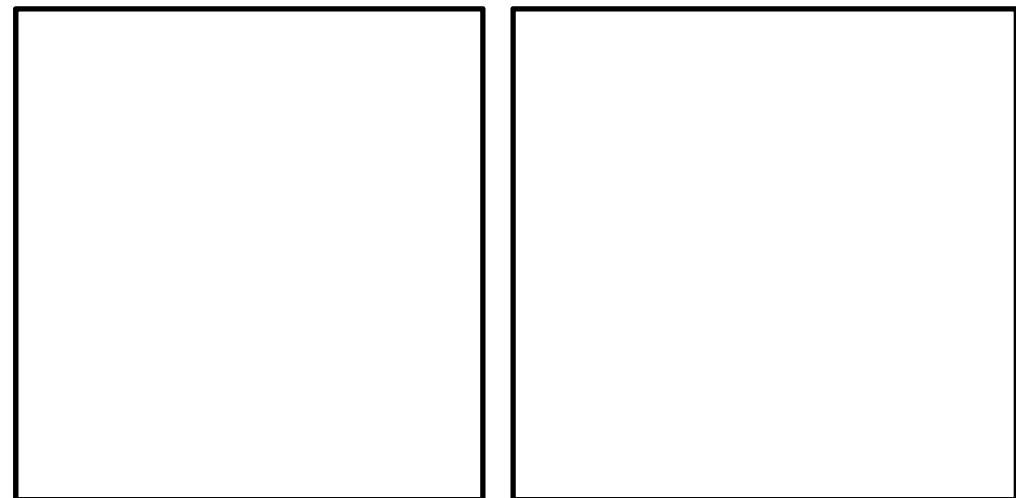
○評価結果

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

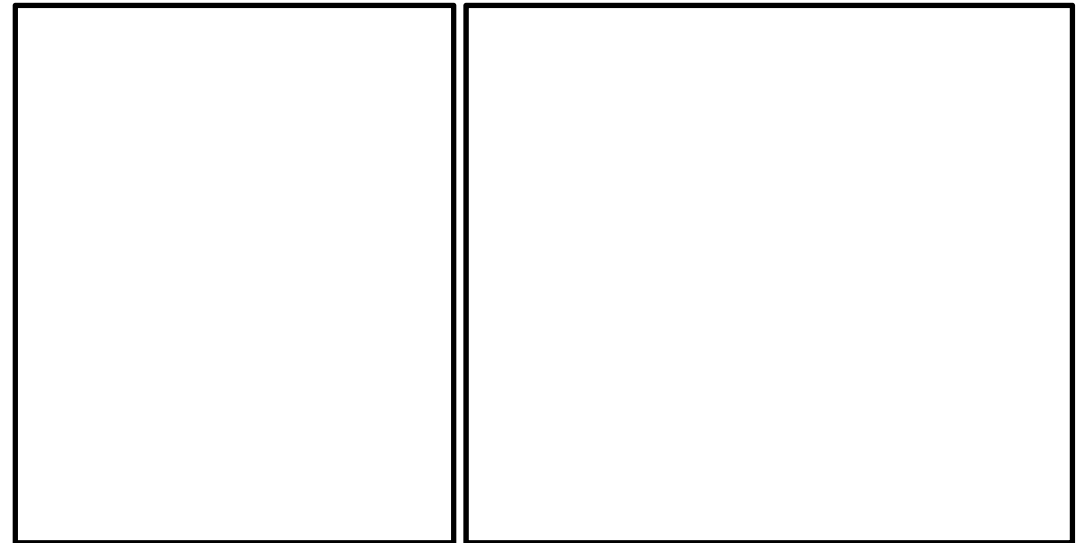
原子炉格納容器本体の設計時に考慮される機能喪失要因は, 脆性破壊, 疲労破壊, 座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200°C , 2Pd の条件を考慮した場合, 脆性破壊が生じる温度域でないこと, 繰り返し荷重が作用しないこと, 圧縮力が一般部に生じないことから, 脆性破壊, 疲労破壊及び座屈は評価対象外と考えることができる。

○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	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°C , 2Pd 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°C , 2Pd)



相当塑性ひずみと限界ひずみとの比較(200°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

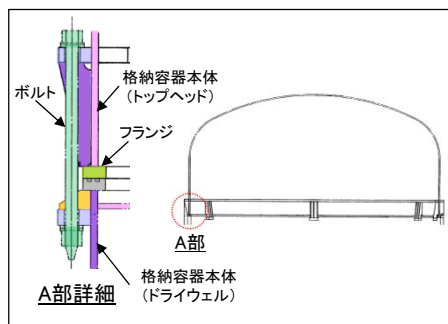
評価対象	機能喪失要因	評価方法
シール部 (フランジ, ガasket)	開口 シール機能低下	実機モデルのFEM解析による開口量評価 既往研究の試験結果を用いた評価

○評価結果

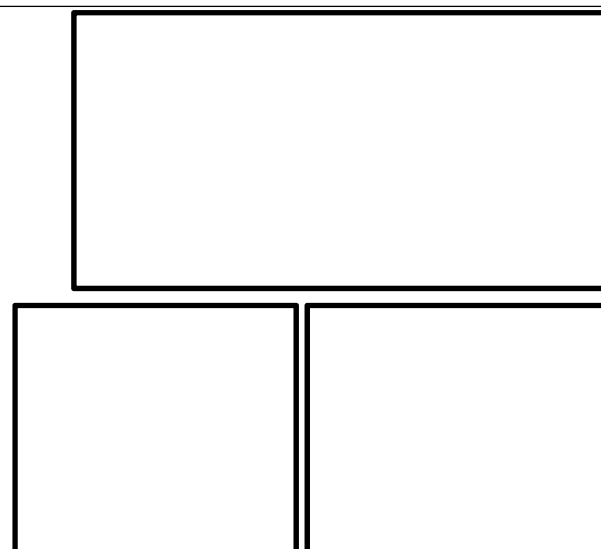
圧縮永久ひずみ試験結果より, 許容される開口量は であるのに対し, FEM解析による2Pdにおけるフランジ部の開口量は, であり, 許容開口量 を下回ることからシール機能は維持できる。

○開口量評価

200℃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

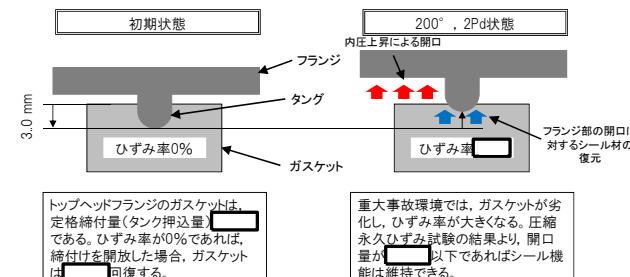
圧力と開口量の関係(東海第二, 200℃)

○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℃
構造部放射線照射量	
試験雰囲気	蒸気
試験時間	168h
ひずみ率	



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℃	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℃	局部破壊なし	破壊がないこと	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℃ 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℃ 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℃ 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℃ 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℃	200℃以上	200℃以上	シール機能維持
配管 貫通部	接続配管	同左	代表配管: PPC-3530	200℃ 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℃ 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℃ 2Pd	許容圧力(X-18): 4.529MPa[gage]	0.62MPa[gage](2Pd)以上 破断せず
電気配線 貫通部	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
	アダプタ	同左	設計・建設規格を準用	200℃ 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℃ 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℃ 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℃ 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℃ 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℃ 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℃ 2Pd	200℃以上	200℃以上 シール機能維持