

4. ハッチ類（機器搬入用ハッチ等）

4.1 評価方針

ハッチ類は、フランジ付きの胴板が原子炉格納容器のコンクリート躯体に固定され、この胴板のフランジに蓋フランジをボルト固定しており、フランジ間のシールにはガスケットを使用している。フランジにはシール溝が二重に配置されており、格納容器内側・外側のそれぞれのシール溝にガスケットを取り付ける二重シール構造になっている。

ハッチ類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 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から、脆性破壊、疲労破壊は評価対象外と考えることができる。なお、熱座屈の可能性が考えられるが、座屈後の圧縮ひずみが開放され破損に至らないことから座屈は評価対象外と考えることができる。

したがって、ハッチ類の機能喪失要因は、原子炉格納容器内圧による過度な塑性変形に伴う延性破壊、また、フランジ部の変形及びシール材の高温劣化によるシール機能の低下が考えられる。

このため、200℃、2Pd での健全性確認には以下の評価が必要である。

- ・ 本体の耐圧
- ・ フランジ固定部の強度
- ・ ガスケットの健全性

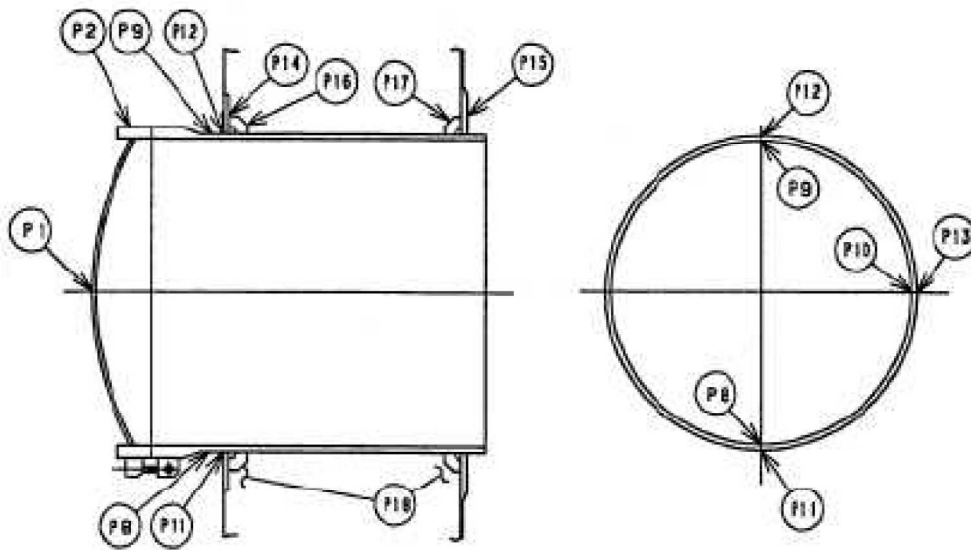


図 4 - 1 機器搬入用ハッチ図

(1) 本体の耐圧

① 一次応力評価

ハッチ類における構造健全性評価として、上部ドライウェル機器搬入用ハッチ、下部ドライウェル機器搬入用ハッチ、サブプレッション・チェンバ出入口のうち内圧による荷重を受け止める部位のうち鏡板、円筒胴について一次一般膜応力評価、貫通部アンカ及びコンクリート部については一次応力評価等を行い、発生応力が許容応力以下であることを確認する。

ここで、設計建設規格の解説表 PVB - 3110 - 1 において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。一方、設計・建設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度毎に材料試験（引張試験）を実施した結果をもとに国内 Su 値検討会で設定された設計引張強さ（Su）に割下げ率を考慮して設定されたものである（設計・建設規格 解説 GNR - 2200）。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過するハッチ類の限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するため、上記割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5、 P_L+P_b （一次局部膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ）には 1.0 とした評価を行う。すなわち、ハッチ類に発生する応力が、 P_m が $2/3Su$ 、 P_L+P_b が Su 以下であれば、延性破壊には至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考えている。

この許容値の考え方は、設計・建設規格 解説 PVB - 3111 に示すように、供用状態 D の P_m 、 P_L+P_b の許容値と同等である、なお、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態 D の許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、 P_m は $2/3Su$ 、 P_L+P_b は $1.5 \times 2/3Su (=Su)$ と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が Su に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が Su に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。

②既往研究成果による評価

ハッチ類については重要構造物安全評価（原子炉格納容器信頼性実証事業）（平成 2 年度～平成 14 年度）において、代表プラントの鋼製格納容器（Mark - II 改良型）の機器搬入用ハッチをモデル化した試験体を用いた耐圧試験を行っており、この結果を踏まえて限界圧力を評価する。

(2) フランジ固定部の強度

① 締付ボルトの強度評価

フランジの締付ボルトについて、原子炉格納容器限界温度、圧力（200℃、2Pd）における強度評価を、既工事計画認可申請書の強度計算をベースに評価する。上部ドライウェル機器搬入用ハッチ、下部ドライウェル機器搬入用ハッチ、サプレッション・チェンバ出入口の締付ボルトを評価対象とする。

② フランジの開口評価

原子炉格納容器の重大事故時の過温、過圧時におけるフランジ開口量を評価するために、FEM解析を用いて ABWR 代表プラントとして 7号炉の機器搬入用ハッチにおける開口量を評価する。

(3) ガasketの健全性

シール材（ガスケット）はこれまでシリコンゴムを使用しているが、福島第一原子力発電所事故で当該シール材が事故環境下に曝されて劣化した可能性があることも踏まえ、事故環境下における性能特性に優れたシール材である改良 EPDM 製シール材に変更する。改良 EPDM 製シール材による事故時の格納容器閉じ込め機能を確認するために、圧縮永久歪み試験結果をもとに格納容器限界開口量を評価し、重大事故時におけるフランジ開口量と比較することで格納容器閉じ込め機能の評価する。

また、格納容器ベント操作実施後の長期シール機能健全性を補強するために、高温蒸気に耐性があるバックアップシール材を追加塗布する。その有効性を、バックアップシール材の試験を元に評価し、格納容器閉じ込め機能の更なる信頼性を確認する。

4.2 評価結果

(1) 本体の耐圧

① 一次応力評価

ハッチ類の構造健全性について、建設時工認の応力値を用いて原子炉格納容器限界温度・圧力（200℃，2Pd）における応力評価を実施した結果を示す。評価部位として、上部ドライウェル機器搬入用ハッチ，下部ドライウェル機器搬入用ハッチ及びサプレッション・チェンバ出入口を選定し，各ハッチのうち内圧による荷重を受け止める部位（鏡板，円筒胴，貫通部アンカ及びコンクリート部）を選択し，発生応力を評価した。評価に用いた主要仕様を表4-1～4-3に示す。

表4-4～4-23に，ハッチ類の応力評価結果を示す。なお，建設時工認の応力値を係数倍して応力を算出している。これらの結果から，200℃，2Pd条件下においてハッチ類の構造健全性を確認した。

表4-1 上部ドライウェル機器搬入用ハッチの主要仕様

項目	柏崎刈羽6号炉	柏崎刈羽7号炉
最高使用圧力 (MPa)	0.31	0.31
最高使用温度 (℃)	171	171
材料	SGV480	SGV480
内径 (mm)		
胴板厚さ (mm)		
蓋板厚さ (mm)		

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 4 - 2 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び
鏡板（機器搬入用ハッチ付）の主要仕様

項目	柏崎刈羽 6 号炉	柏崎刈羽 7 号炉
最高使用圧力 (MPa)	0.31	0.31
最高使用温度 (°C)	171	171
材料	SGV480	SGV480
内径 (mm)	[Redacted]	
胴板厚さ (mm)		
蓋板厚さ (mm)		

表 4 - 3 サプレッション・チェンバ出入口の主要仕様

項目	柏崎刈羽 6 号炉	柏崎刈羽 7 号炉
最高使用圧力 (MPa)	0.31	0.31
最高使用温度 (°C)	104	104
材料	SGV480	SGV480
内径 (mm)	[Redacted]	
胴板厚さ (mm)		
蓋板厚さ (mm)		

【6号炉】 上部ドライウエル機器搬入用ハッチの構造健全性評価結果

(200°C, 2Pd)

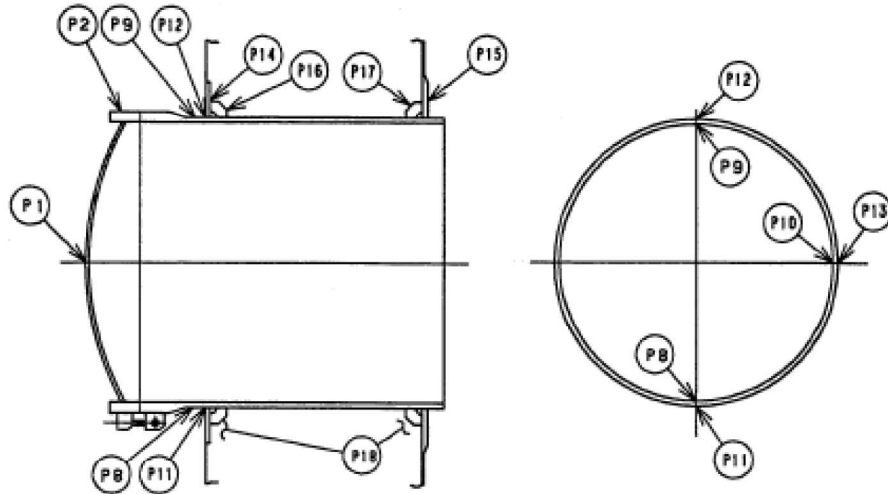


図 4 - 2 柏崎刈羽 6 号炉 上部ドライウエル機器搬入用ハッチ

表 4 - 4 鋼製耐圧部の応力評価のまとめ (単位: MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力比
		P_m		P_L+P_b		
		応力	許容	応力	許容	
		強さ	値	強さ	値	
P1	鏡板中央部		281		422	
P8	上部ドライウエル 機器搬入用ハッチ円筒胴		281		422	
P9			281		422	
P10			281		422	
P11	上部ドライウエル		—		422	
P12	機器搬入用ハッチ円筒胴のフ		—		422	
P13	ランジプレートとの結合部		—		422	

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 4 - 5 貫通部アンカの応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	曲げ応力		せん断応力		応力比	
		応力	許容 応力	応力	許容 応力	曲げ	せん断
P15	フランジプレート (内側)	[Redacted]	312	[Redacted]	156	[Redacted]	[Redacted]
P17	ガセットプレート (内側)		—		156		

表 4 - 6 コンクリート部の応力評価まとめ (単位 : N/mm²)

応力 評価点 番号	応力評価点	圧縮応力度		応力比
		フランジ プレート (内側) 近傍	許容応力度	
P18	コンクリート部	[Redacted]	27.5	[Redacted]

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

【6号炉】下部ドライウェル機器搬入用ハッチの構造健全性評価結果

(200°C, 2Pd)

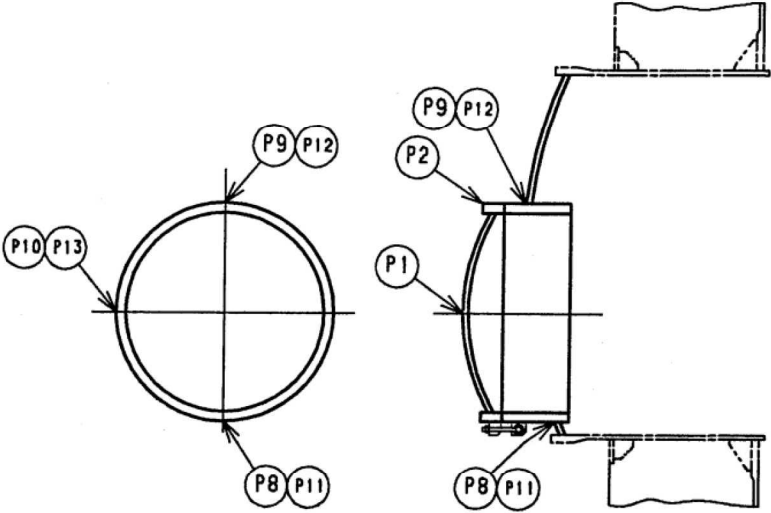


図 4 - 3 下部ドライウェル機器搬入用ハッチ

表 4 - 7 鋼製耐圧部の応力評価まとめ (単位: MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力 比
		P _m		P _L +P _b		
		応力 強さ	許容 値	応力 強さ	許容 値	
P1	鏡板中央部		281		422	
P8	下部ドライウェル 機器搬入用ハッチ円筒胴		281		422	
P9			281		422	
P10			281		422	
P11	下部ドライウェル		—		422	
P12	機器搬入用ハッチ円筒胴と		—		422	
P13	鏡板との取付部		—		422	

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

【6号炉】下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（機器搬入用ハッチ付）の構造健全性評価結果（200℃，2Pd）

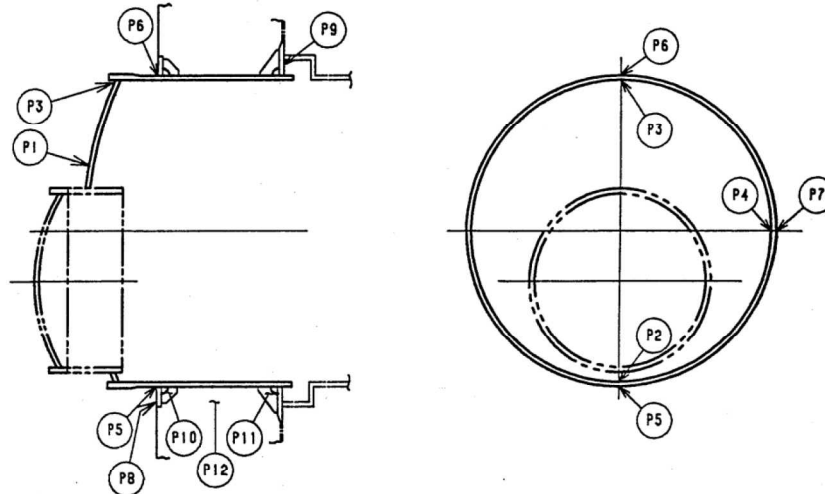


図4-4 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板
(機器搬入用ハッチ付)

表4-8 鋼製耐圧部の応力評価まとめ (単位: MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力 比
		P_m		P_L+P_b		
		応力 強さ	許容 値	応力 強さ	許容 値	
P1	鏡板	—	—	422	422	
P2	鏡板のスリーブとの結合部	—	—			
P3		—	—			
P4		—	—			
P5	スリーブのフランジプレートと の結合部	—	—			
P6		—	—			
P7		—	—			

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 4 - 9 貫通部アンカの応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力 評価点	一次応力				応力比	
		曲げ応力		せん断応力		一次	
		応力	許容 応力	応力	許容 応力	曲げ	せん 断
P9	フランジ プレート (内側)		440		220		
	ガセット プレート (内側)		—		156		

表 4 - 10 コンクリート部の応力評価まとめ (単位 : N/mm²)

応力 評価点 番号	応力評価点	圧縮応力度		応力比
		フランジ プレート (内側) 近傍	許容応力度	
		P12	コンクリート部	

【6号炉】 サプレッション・チェンバ出入口の構造健全性評価結果 (200℃, 2Pd)

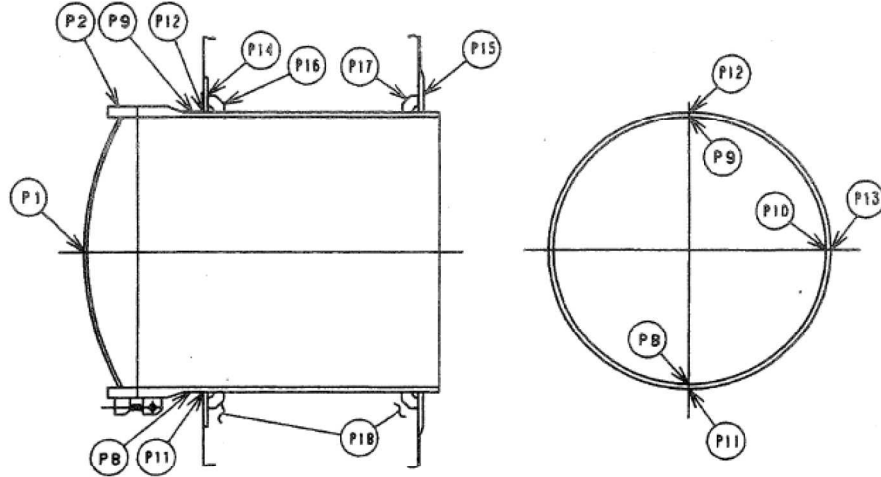


図 4 - 5 サプレッション・チェンバ出入口

表 4 - 11 鋼製耐圧部の応力評価まとめ (単位: MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力 比
		P_m		P_L+P_b		
		応力 強さ	許容 値	応力 強さ	許容 値	
P1	鏡板中央部		281		422	
P8	サプレッション・チェンバ 出入口円筒胴		281		422	
P9			281		422	
P10			281		422	
P11	サプレッション・チェンバ		—		422	
P12	出入口円筒胴のフランジ		—		422	
P13	プレートとの結合部		—		422	

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 4 - 12 貫通部アンカの応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	曲げ応力		せん断応力		応力比	
		応力	許容 応力	応力	許容 応力	曲げ	せん断
P15	フランジプレート (内側)		312		156		
P17	ガセットプレート (内側)		—		156		

表 4 - 13 コンクリート部の応力評価まとめ (単位 : N/mm²)

応力 評価点 番号	応力評価点	圧縮応力度		応力比
		フランジ プレート (内側) 近傍	許容応力度	
P18	コンクリート部		27.5	

【7号炉】上部ドライウェル機器搬入用ハッチの構造健全性評価結果
(200°C, 2Pd)

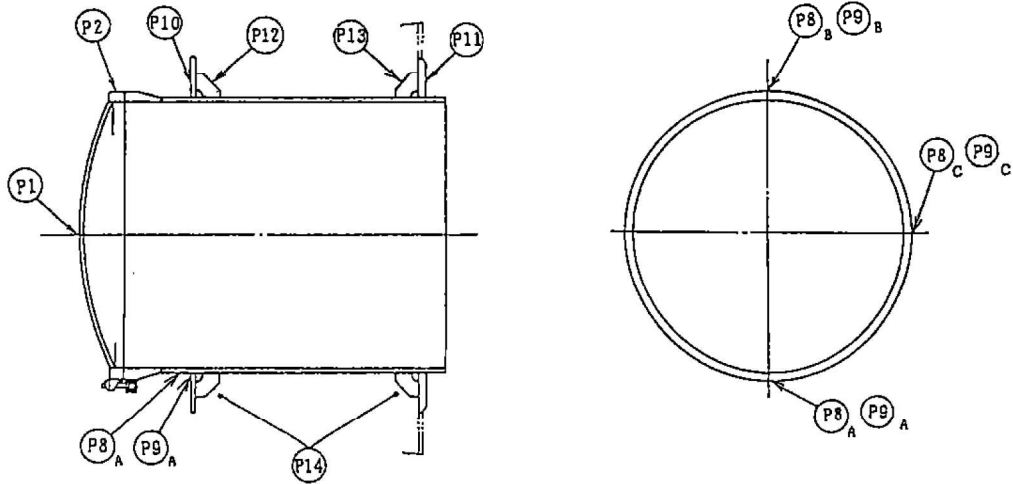


図4-6 柏崎刈羽7号炉 上部ドライウェル機器搬入用ハッチ

表4-14 鋼製耐圧部の応力評価のまとめ (単位: MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力比
		P_m		P_L+P_b		
		応力	許容	応力	許容	
		強さ	値	強さ	値	
P1	鏡板中央部		281		422	
P8	機器搬入用ハッチ円筒胴		281		422	
P9	機器搬入用ハッチ円筒胴のフ ランジプレートとの結合部		—		422	

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 4 - 15 貫通部アンカの応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	曲げ応力		せん断応力		応力比	
		応力	許容 応力	応力	許容 応力	曲げ	せん断
P11	フランジプレート (内側)		312		156		
P13	ガセットプレート (内側)		—		156		

表 4 - 16 コンクリート部の応力評価まとめ (単位 : N/mm²)

応力 評価点 番号	応力評価点	圧縮応力度		応力比
		フランジ プレート (内側) 近傍	許容応力度	
P14	コンクリート部		27.5	

【7号炉】下部ドライウェル機器搬入用ハッチの構造健全性評価結果

(200°C, 2Pd)

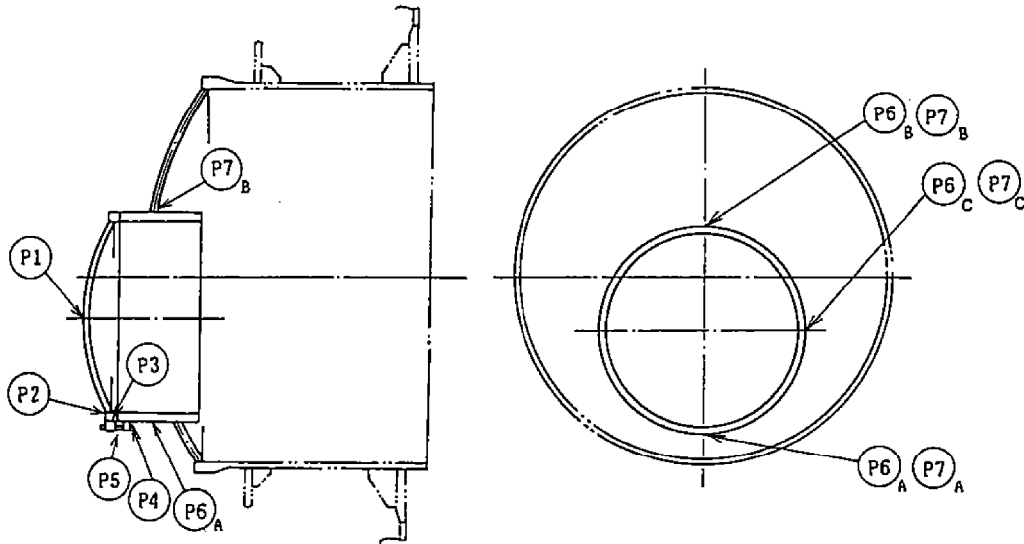


図4-7 下部ドライウェル機器搬入用ハッチ

表4-17 鋼製耐圧部の応力評価まとめ (単位: MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力 比
		P_m		P_L+P_b		
		応力 強さ	許容 値	応力 強さ	許容 値	
P1	鏡板中央部	[Redacted]	281	[Redacted]	422	[Redacted]
P6	機器搬入用ハッチ円筒胴		281		422	
P7	機器搬入用ハッチ円筒胴と 鏡板との取付部		—		422	

【7号炉】下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（機器搬入用ハッチ付）の構造健全性評価結果（200℃，2Pd）

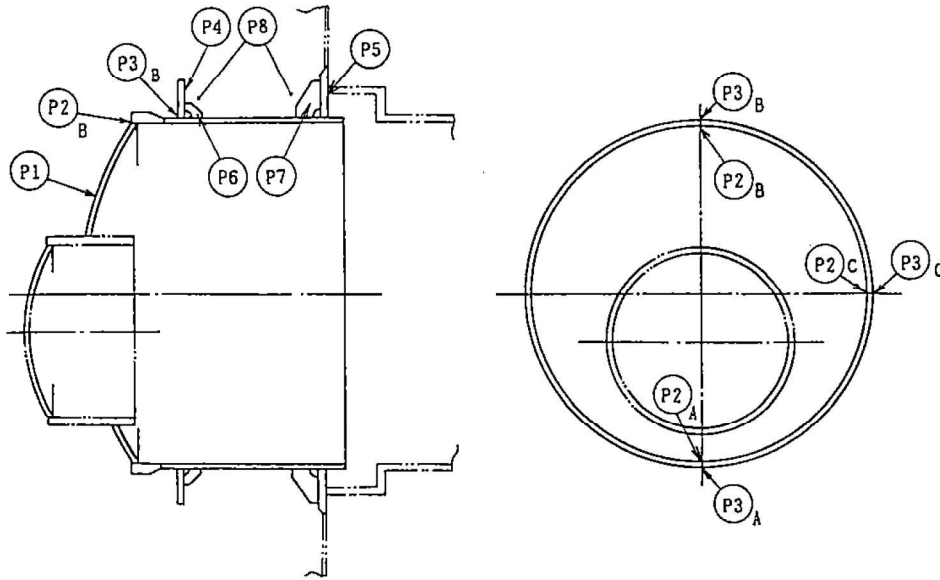


図4-8 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板
（機器搬入用ハッチ付）

表4-18 鋼製耐圧部の応力評価まとめ（単位：MPa）

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力 比
		P_m		P_L+P_b		
		応力 強さ	許容 値	応力 強さ	許容 値	
P1	鏡板	—	—		422	
P2	鏡板のスリーブとの結合部	—	—		422	
P3	スリーブのフランジとの結合部	—	—		422	

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 4 - 19 貫通部アンカの応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力 評価点	一次応力				応力比	
		曲げ応力		せん断応力		曲げ	せん 断
		応力	許容 応力	応力	許容 応力		
P5	フランジ プレート (内側)		439		219		
P7	ガセット プレート (内側)		—		156		

表 4 - 20 コンクリート部の応力評価まとめ (単位 : N/mm²)

応力 評価点 番号	応力評価点	圧縮応力度		応力比
		フランジ プレート (内側) 近傍	許容応力度	
		P8	コンクリート部	

【7号炉】 サプレッション・チェンバ出入口の構造健全性評価結果 (200℃, 2Pd)

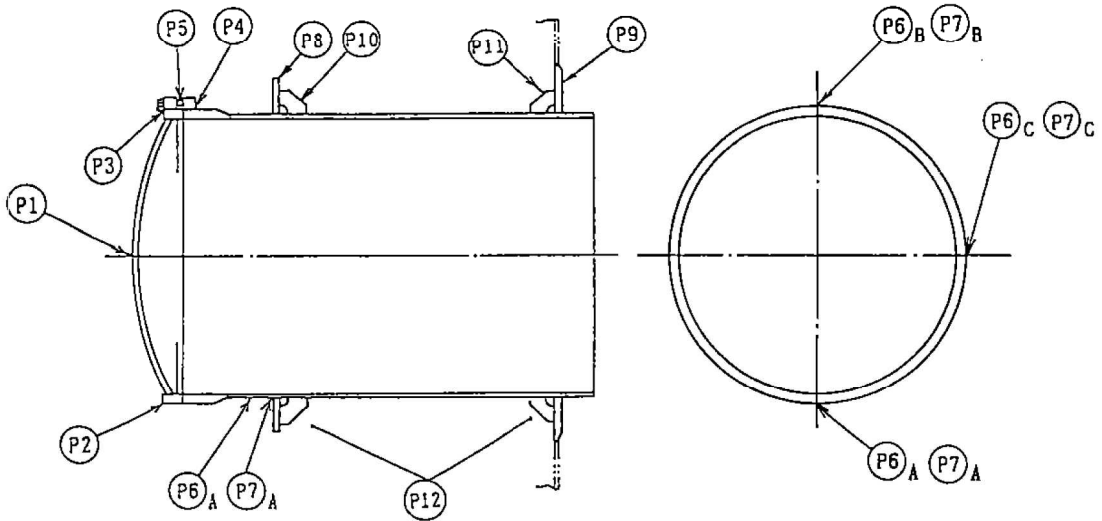


図 4 - 9 サプレッション・チェンバ出入口

表 4 - 21 鋼製耐圧部の応力評価まとめ (単位: MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力比
		P_n		P_L+P_b		
		応力	許容	応力	許容	
		強さ	値	強さ	値	
P1	鏡板中央部		281		422	
P6	サプレッション・チェンバ 出入口円筒胴		281		422	
P7	サプレッション・チェンバ 出入口円筒胴のフランジ プレートとの結合部		—		422	

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 4 - 22 貫通部アンカの応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	曲げ応力		せん断応力		応力比	
		応力	許容 応力	応力	許容 応力	曲げ	せん断
P9	フランジプレート (内 側)	[]	312	[]	156	[]	[]
P11	ガセットプレート (内 側)		—		156		

表 4 - 23 コンクリート部の応力評価まとめ (単位 : N/mm²)

応力 評価点 番号	応力評価点	圧縮応力度		応力比
		フランジ プレート (内側) 近傍	許容応力度	
P12	コンクリート部	[]	27.5	[]

②既往研究成果による評価

ハッチ類については重要構造物安全評価（原子炉格納容器信頼性実証事業）（平成2年度～平成14年度）において、代表プラントの鋼製格納容器（Mark-II改良型）の機器搬入用ハッチをモデル化した試験体を用いた耐圧試験を行い、限界圧力を評価している。この耐圧試験の結果、限界圧力は 19.5kg/cm^2 （約 6.0Pd ）であることが示されており、それ以下では破損が生じないことを確認している。このハッチモデル試験体は Mark-II改良型のハッチを想定して試験が行われたものであるが、Mark-II改良型のハッチと RCCV のハッチの基本的な構造は同じであるため、これらを用いて、柏崎刈羽原子力発電所 6, 7号炉のハッチ類の 2Pd における健全性を確認する。

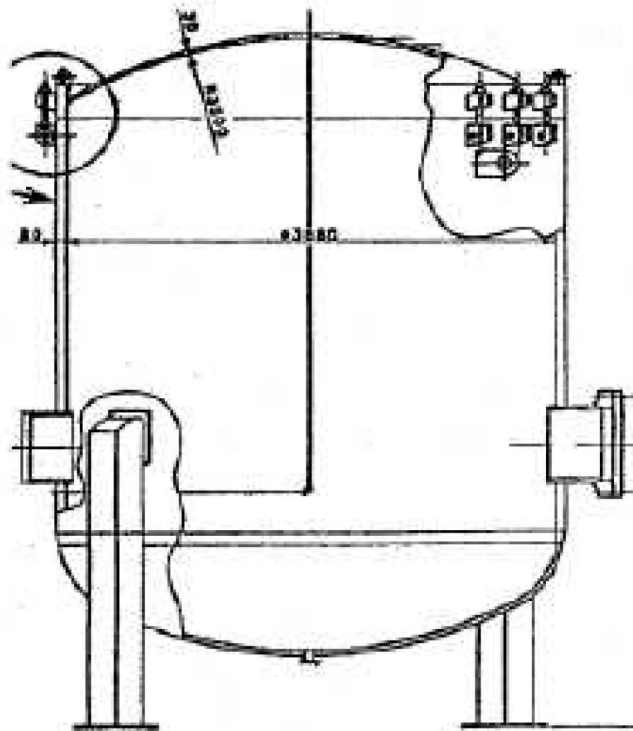


図4-10 ハッチモデル試験

機器搬入用ハッチ形状（球形胴）に対する必要板厚は、設計・建設規格により計算式(4.1)から求められる。この式を変形し、板厚 t と降伏応力 S_y から弾性限界圧力 P を算出する。

$$t = P \cdot D_i / (4 \cdot S_y \cdot \eta - 0.4P) \quad \dots\dots(式4.1)$$

$$P = 2 \cdot S_y \cdot \eta \cdot t / (R + 0.2 \cdot t) \quad \dots\dots(式4.2)$$

鋼材の200℃における設計降伏点 $S_y=226\text{MPa}$ ，継手効率 $\eta=1$ とすると，弾性限界圧力 P は表4 - 24 の通り算出される。

表4 - 24 機器搬入用ハッチの弾性限界圧力

	柏崎刈羽 6/7 号炉 機器搬入用ハッチ		ハッチモデル 試験体
	上部	下部	
R (内半径)			3500mm
t (板厚)			30mm
P (弾性限界圧力)	3.47MPa	3.76MPa	3.87MPa

表4 - 24に示すように機器搬入用ハッチは，ハッチモデル試験体と同程度の耐圧強度を有していることから，少なくともハッチモデル試験体の限界圧力 $6.0P_d$ と同程度の圧力まで健全性を有するものと判断できる。

したがって，機器搬入用ハッチは200℃条件において， $6.0P_d$ 程度までは健全であると考えられる。よって，ハッチ類は $2P_d$ においても健全性は確保できると考えている。

(2) フランジ固定部の強度

① 締付ボルトの強度評価

フランジの締付ボルトについて、原子炉格納容器限界温度、圧力（200℃，2Pd）における強度評価を、既工事計画認可申請書の強度計算をベースに評価する。各ハッチ類の締付ボルト基本仕様を表 4 - 25～27、評価結果を表 4 - 28 に示す。いずれも許容応力以下であることから、締付ボルトは 200℃，2Pd において健全である。

表 4 - 25 上部ドライウェル機器搬入用ハッチの締付ボルト基本仕様

項目	6号炉	7号炉
ボルトの材質	SNCM439	SNCM439
ボルトの呼び		
ボルトの本数		

表4 - 26 下部ドライウェル機器搬入用ハッチの締付ボルト基本仕様

項目	6号炉	7号炉
ボルトの材質	SNCM439	SNCM439
ボルトの呼び		
ボルトの本数		

表4 - 27 サプレッション・チェンバ出入口の締付ボルト基本仕様

項目	6号炉	7号炉
ボルトの材質	SNCM439	SNCM439
ボルトの呼び		
ボルトの本数		

表4 - 28 締付ボルトの評価結果 (単位:MPa)

評価部位	6号炉	7号炉	許容値
上部ドライウエル機器搬入用ハッチ			576
下部ドライウエル機器搬入用ハッチ			576
サプレッション・チェンバ出入口			576

②フランジの開口評価

原子炉格納容器の重大事故時の過温、過圧時におけるフランジ開口量を評価するために、FEM解析を用いてABWR代表プラントモデルとして7号炉の機器搬入用ハッチ部における開口量を評価した。解析モデルは図4-11に、開口量の解析評価結果を図4-12に示す。なお、本FEM解析の妥当性については別紙-3「トップヘッドフランジ等の開口量評価の妥当性について」で示す。2Pdにおける開口量は、内側ガスケット部で約1.4mm、外側ガスケット部で約1mmとなる。

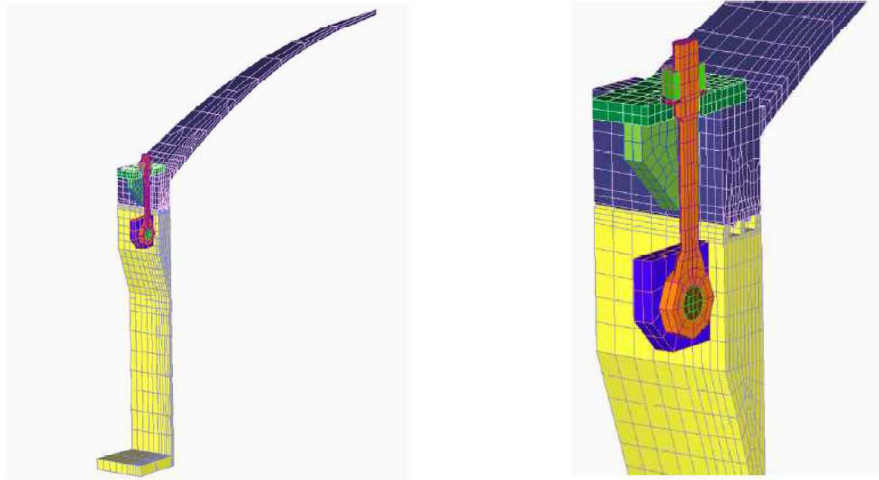


図 4 - 11 機器搬入用ハッチ開口量評価の解析モデル

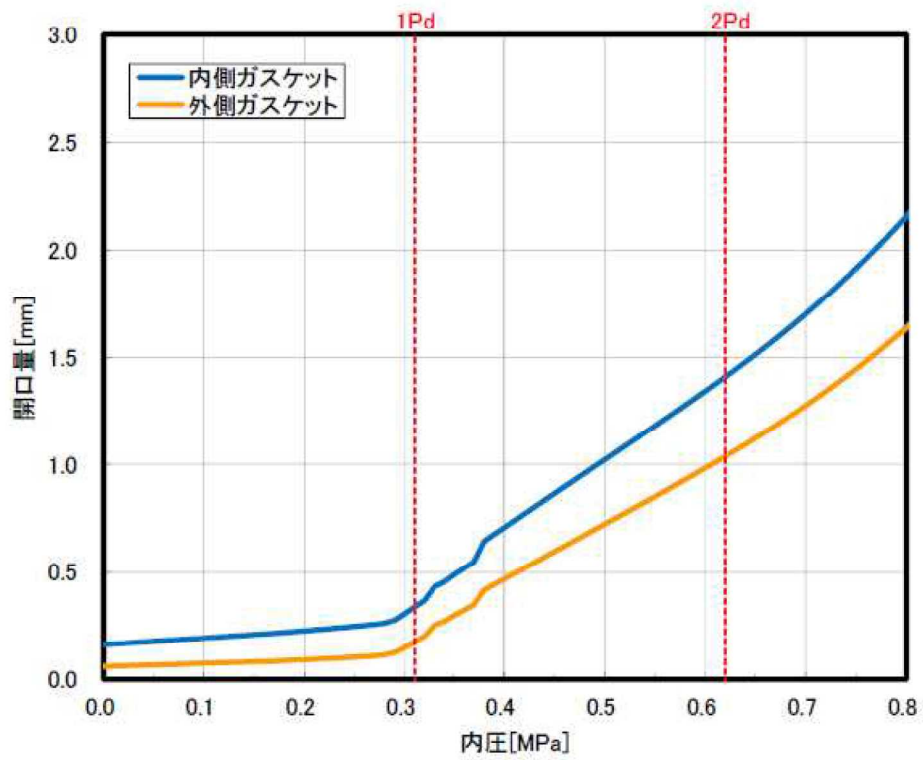


図 4 - 12 機器搬入用ハッチの各ガスケット部の圧力と開口変位の関係

(3) ガスケットの健全性

福島第一原子力発電所事故で原子炉格納容器内雰囲気漏えいした経路として、原子炉格納容器トップヘッドフランジ、機器搬入用ハッチ等のフランジシール部が推定漏えい経路の1つであると考えている。原子炉格納容器のフランジシール部は、内圧が低い段階ではボルトの初期締付けにより開口は抑制されているが、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。ただし、フランジ部が開口しても、フランジ部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。しかしながら、福島第一原子力発電所事故のような事故環境に晒されると、原子炉格納容器トップヘッドフランジ等のフランジシール部に使用されているシール材が劣化し、フランジの開口に追従できなくなり格納容器閉じ込め機能を損なう可能性がでてくる。

そこで、柏崎刈羽原子力発電所 6, 7 号炉原子炉格納容器フランジシール部に使用されているシール材（シリコンゴム）について、事故時環境下の耐性が優れた改良 E P D M 製シール材に変更して格納容器閉じ込め機能の強化を図る。従って、改良 E P D M 製シール材について、事故時の温度や放射線による劣化特性を試験により確認し、想定される事故シナリオにおけるシール機能を評価する。なお、フランジ部のシール材は、プラントの定期検査時に開放される場合には取り替えを実施しており、通常運転中における劣化は極めて軽微であることから、事故条件下での評価を実施する。

① シール材（改良 E P D M）の圧縮永久ひずみ試験結果について

改良 E P D M 製シール材の事故時環境における劣化特性を、高温蒸気曝

露の期間を確認するために、JIS K6262「加硫ゴム及び熱加塑性ゴムの常温・高温及び低温における圧縮永久ひずみの求め方」に準じて圧縮永久歪み試験を実施した。その結果を表4-29に示す。なお、圧縮永久ひずみ測定とは、所定の圧縮率をかけ変形させた後、開放時の戻り量を評価するものである。完全に元の形状に戻った場合を0%とし、全く復元せずに完全に圧縮された状態のままである状態を100%としている。例えば、圧縮永久ひずみが表4-29で示す「」の場合は、シール材の初期締付量がである7号炉を例にとると、戻ることを意味する。この場合、のフランジ部開口まではシール機能が確保可能と想定できる。

表4-29 改良EPDM製シール材の圧縮永久ひずみ試験結果

No	放射線照射	ガス性状	温度	圧縮永久ひずみ試験		
				24h	72h	168h
1	800kGy	乾熱	200℃			
2	800kGy	乾熱	250℃			
3	800kGy	蒸気	200℃			
4	800kGy	蒸気	250℃			

② 改良EPDM製シール材の性能確認試験

② - 1 実機を模擬した小型フランジ試験

改良EPDM製シール材の性能を確認するために、圧縮永久歪み試験に加え、実機フランジOリング溝を模擬した小型試験装置を用いて、事故環境に曝露した後のシール機能を確認した。試験装置を図4-13に示しており、実機Oリング溝の断面寸法を1/2スケールとして試験治具を製作し、

予め γ 線照射したシール材を用いて試験体を作り、高温環境に曝露した後に気密確認試験を実施した。

試験条件としては、事故条件を模擬するために、放射線照射量はフランジガasket部の事故後7日間の累積放射線量の目安である800kGyを用いて実施している。また、高温曝露は高温空気及び高温蒸気で曝露し、温度については、格納容器限界温度である200℃と、さらに余裕を見た250℃を設定し、それぞれ7日間(168h)一定温度で高温曝露している。また、試験治具のOリング溝は内側に1mmの段差があり、その段差の間からシール材が高温空気又は蒸気に曝露されるため、事故時の格納容器過圧に伴うフランジ開口を考慮した状態で、高温曝露ができる試験体となっている。高温曝露後は、事故時に発生する水素を模擬するために、Heにより気密確認試験を実施している。気密確認試験では、格納容器限界圧力2Pd(0.62MPa)以上の気密性を確認するため最大で0.9MPaまで加圧して気密性を確認している。また、格納容器過圧に伴うフランジ開口時のシール材の気密性を確認するために、高温曝露後の試験体フランジを0.8mm開口させ、その状態でもHe気密確認試験を実施し、0.9MPa加圧時に漏えいのないことを確認している。なお、開口量の0.8mmは、2Pdにおける開口量が最も大きな機器搬入用ハッチのフランジ開口量(約1.4mm)に余裕をもたせた開口量(1.6mm)を1/2スケールにしたものである。

試験の詳細は別紙-4「改良EPDMシール材の試験について」で示しており、本試験により200℃が168時間継続した場合の改良EPDM製シール材のシール機能の健全性を確認した。

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。



図 4 - 13 改良 E P D M 製シール材の性能確認試験装置

② - 2 実機フランジモデル試験

改良 E P D M 製シール材は前述の小型フランジ試験に加え、より大口徑（Oリング径：約 250mm）の実機フランジモデル試験（実機フランジモデル試験）も実施しているところであり、実機条件に近い状態でのシール健全性の確認を進めているところである。試験装置は図 4 - 14、図 4 - 15 に示しており、試験フランジの溝断面形状は実機と同じとし、溝径を縮小した試験フランジとする。試験試料の断面形状は実機と同じとし、径を縮小した試験試料とする。予め γ 線照射したシール材を用いて試験体を作り、高温環境に曝露した後に気密確認試験を実施する。

試験条件としては、事故条件を模擬するために、放射線照射量はフランジガasket部の事故後 7 日間の累積放射線量の目安である 800kGy を用いて実施している。また、E P D M の劣化は一般的に酸素により引き起こされるとの知見に基づき、高温曝露は蒸気ではなく高温空気（乾熱）で曝露し、温度については、格納容器限界温度である 200℃と、さ

らに余裕を見た 250℃、300℃とし、それぞれ定める期間を一定温度で高温曝露する。また、内圧作用時の実機フランジの開口を模擬するため、フランジ面に調整シムを挟んで押し込み量を調整できる装置にしている。

本試験装置によりシール材を高温曝露した後、気密確認試験を実施した。気密確認試験では、格納容器限界圧力 $2Pd(0.62\text{MPa})$ を包絡する圧力で気密性を確認しており、その試験結果を別紙 - 11 に示す。本試験結果により 200℃が 168 時間継続した場合の改良 EPDM 製シール材のシール機能の健全性を確認した。

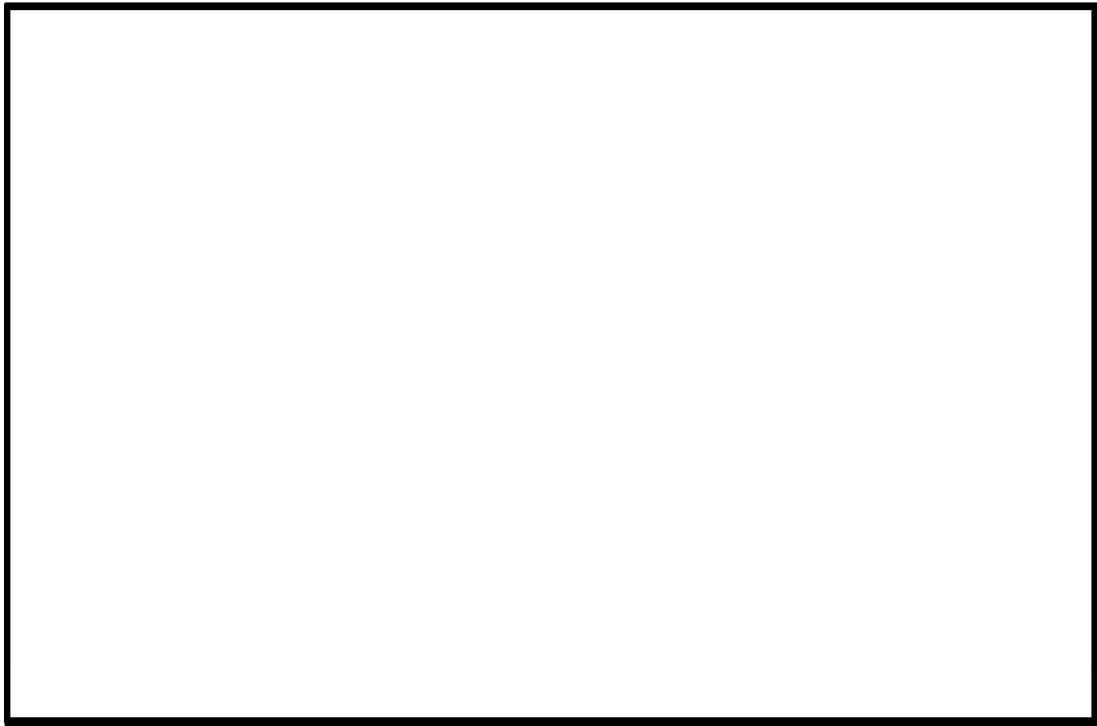
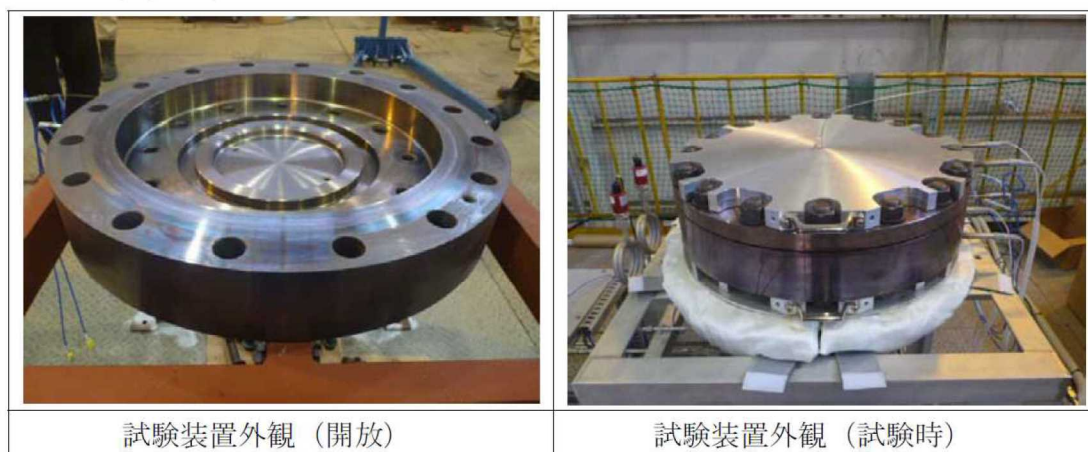


図 4 - 14 実機フランジモデル試験の装置概要



試験装置外観（開放）

試験装置外観（試験時）

図 4 - 15 実機フランジモデル試験装置の外観

③ フランジ開口量を考慮した漏えい評価

前述①および②を踏まえ，事故時環境下に曝されることによるシール材劣化（シール材追従量の低下）と，原子炉格納容器の限界温度・圧力によるフランジ開口量を考慮し，限界温度・圧力である 200℃，2Pd 条件下におけるシール材の機能確保に関する評価線図を図 4 - 16 に示す。

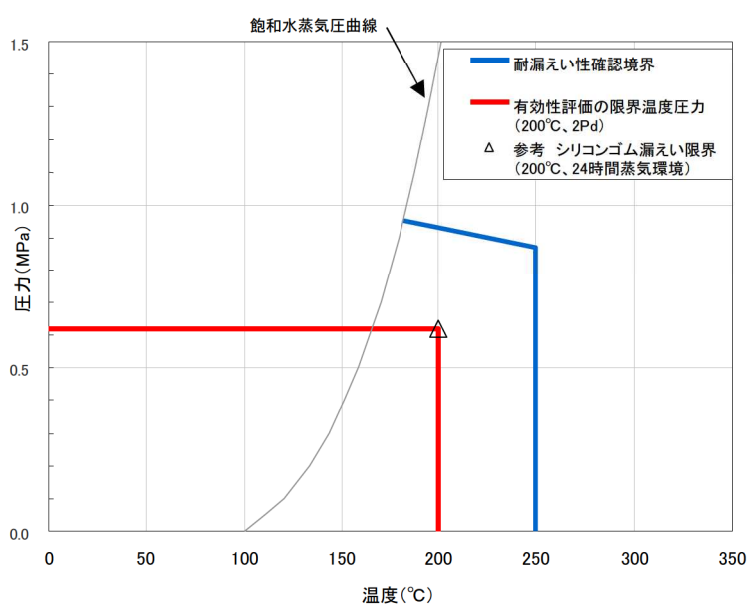


図 4 - 16 シール材の機能確保に関する評価線図（機器ハッチ）

図中の青線は、シール部の健全性を確認している範囲を示す線である。この青線において、温度依存の傾きのある部分は、格納容器の機器ハッチフランジ部の構造解析結果（図 4 - 12）とシール材の圧縮永久ひずみ試験結果（表 4 - 29）から、フランジ部の開口量にシール材が追従できなくなる境界を示すものである（解析で示したフランジ部の開口量が、改良 E P D M の圧縮永久ひずみ（乾熱，7 日間）に基づき定めたシール材の戻り量と等しくなったときに漏えいすると評価）。

一方、青線において、温度が 250℃一定の垂直の部分は、改良 E P D M を用いたフランジ部の小型モデル試験結果から、過圧・過温状態におけるシール材の健全性が確認できている範囲を示すものである（格納容器シール部の形状を模擬した試験装置を用いて、漏えいが発生する圧力、温度の評価）。なお、250℃で実施した小型モデル試験では、漏えいは生じていないため、実際の限界温度はさらに高い温度となる。

上記の結果から、シール部については、シール材が高温環境下において劣化する特性を有していることを考慮しても、限界温度・圧力環境下において、シール材に耐環境性に優れた E P D M 性シール材を用いることにより、少なくとも 7 日間の健全性を確保できることを確認した。シール材が高温環境下で劣化することにより、放射性物質の閉じ込め機能を喪失する可能性については、福島事故の分析からも確認されており、福島事故の経験と分析を踏まえ、高温環境下における耐性を強化したシール材を用いることにより、機能を向上させる。

④ バックアップシール材のシール機能について

当社は福島第一原子力発電所の事故知見を踏まえ、格納容器閉じ込め機能強化の更なる信頼性向上を目途としてバックアップシール材を開発

した。バックアップシール材は図 4 - 17 で示すように、現行シール材のシール溝よりも外側のフランジ面全周に塗布できるシール材である。バックアップシール材は、耐高温性、耐蒸気性、耐放射線性が確認され、重大事故環境下においてもシール機能を発揮できるものを用いる。バックアップシール材の性能は、図 4 - 18 で示す試験装置で、事故環境下に曝された後のシール機能について評価されている。

④ - 1 バックアップシール材の性能確認試験

試験条件としては、事故条件を模擬するために、放射線照射量はフランジ部の事故後 7 日間の累積放射線量の目安である 800kGy を用いて実施している。また、高温曝露は高温蒸気で曝露し、温度については、格納容器限界温度 200°C に余裕を見た 250°C を設定し、7 日間(168h)一定温度で高温曝露している。高温曝露後は、事故時に発生する水素を模擬するために、He により気密確認試験を実施している。気密確認試験では、格納容器限界圧力 2Pd(0.62MPa)以上の気密性を確認するため最大で 0.9MPa まで加圧して気密性を確認している。

また、重大事故時には事故後ベント実施までは圧力が 2Pd 近傍と高くなりフランジ部が開口することから、フランジ開口を経験した後にバックアップシール材に気密性があるか否かを確認するため、30cm 中型試験体を用いて隙間ゲージで一度変位を経験させた後に He 気密試験を実施した(開口模擬後気密確認試験)。変位は、格納容器限界圧力 2Pd 時のバックアップシール材塗布位置を考慮し、機器搬入用ハッチの外側ガasketのフランジ開口量をもとに 1mm に設定した。試験の流れとしては、バックアップシール材を塗布したフランジを乾燥させた後に、隙間ゲージで変位を加え、その後隙間ゲージを引き抜いて試験フランジの変

位を当初位置に戻す。その状態で He 気密確認試験を実施し、0.9MPa 加圧時に漏えいのないことを確認している。なお、開口模擬後気密確認試験は試験装置上の理由から、バックアップシール材に高温曝露は経験させていない。しかしながら、FT - IR 分析により 250℃蒸気曝露で構造の変化量は小さく、顕著な劣化が認められなかったことから、高温曝露有無は事故時開口を模擬したバックアップシール材の性能を確認する試験では、試験結果に大きな影響を与えないと考えている。

試験の詳細は別紙 - 5 「バックアップシール材の試験について」で示しており、バックアップシール材は 250℃蒸気曝露が 168h 継続したとしても気密性が確保できることを確認している。また、250℃蒸気曝露が 168h 継続した後のバックアップシール材の化学構造の変化を確認するために FT-IR 分析を実施し、曝露前後でもバックアップシール材の化学構造がほとんど変化していないことを確認している。よって、250℃蒸気曝露環境下では有意な劣化はほとんど無いことから、格納容器限界温度である 200℃状態が長期継続したときであっても、バックアップシール材により格納容器閉じ込め機能の健全性は確保できる。

以上のことから、バックアップシール材について格納容器限界温度 200℃における長期シール性が確認できた。また、ベント実施までの間に格納容器過圧によるフランジ開口を経験したとしても、ベント後のフランジ開口量が小さい領域では高温性に優れたシール機能を発揮することが確認できた。よって、バックアップシール材は、格納容器ベント操作後の長期シール機能強化に有効である。

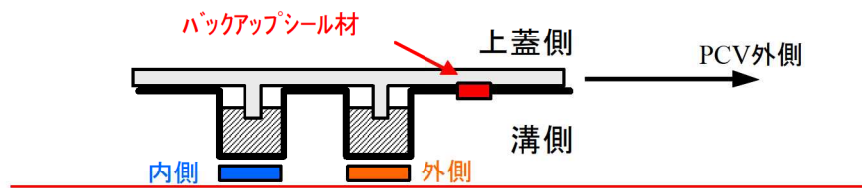
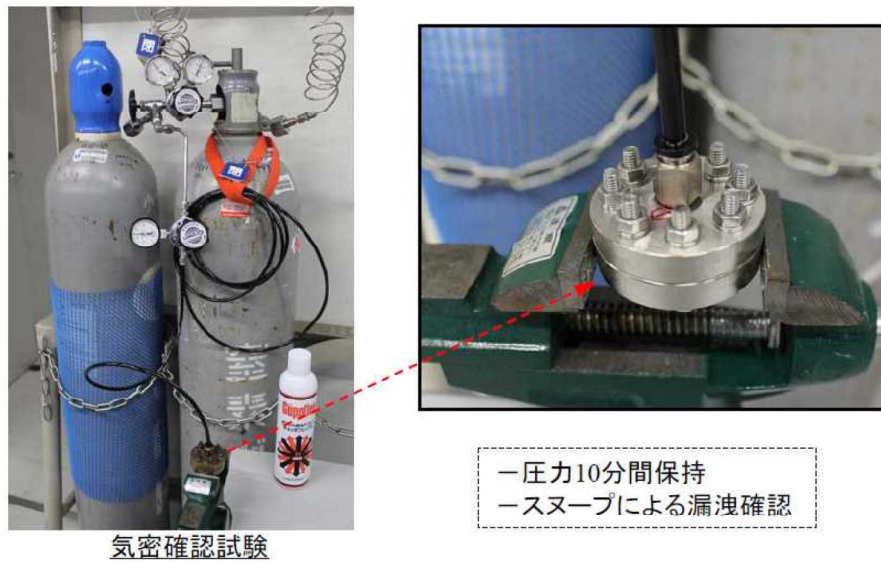


図 4 - 17 バックアップシール材イメージ図



気密確認試験

図 4 - 18 バックアップシール材の気密試験

表 4 - 30 バックアップシール材の気密性試験結果

試験条件	温度	蒸気曝露	放射線照射	気密試験
蒸気曝露なし	350℃	-	-	○
	350℃	-	827kGy	○
蒸気曝露あり	250℃	168h	819kGy	○

○は気密試験時に「漏えいなし」を示す

④ - 2 バックアップシール材の塗布条件

バックアップシール材のシール機能が確保されるための塗布幅，塗布厚さ，塗布作業に関する条件は，各種試験の結果から表 4 - 31 の通り定

めている。塗布幅は幅が広い程シール機能が向上するが、試験でシール機能が確認できた最小の塗布幅を元に設定している。塗布厚さについては、シール機能が確認できた塗布厚さを元に設定している。また、バックアップシール材は塗布後、除々に乾燥して固まるため、塗布後にフランジ閉鎖するまでの時間を制約として設けることにしている。この時間についても、試験によりバックアップシール材の乾燥時間を考慮して、シール機能が確認できた時間を元に設定している。

表 4 - 31 バックアップシール材の塗布条件

項目	塗布条件
バックアップシール材の塗布幅	
バックアップシール材の塗布厚さ	
塗布後、フランジ閉鎖までの時間	

④ - 3 バックアップシール材の品質確認

バックアップシール材は表 4 - 31 の条件で塗布することで、シール機能が確保可能である。従って、バックアップシール材塗布作業時に「塗布幅」、「塗布厚さ」、「塗布後、フランジ閉鎖までの時間」を確認することで品質を確認する。「塗布幅」、「塗布厚さ」については、それら幅、厚さを担保可能な専用治具を用いてバックアップシール材を塗布作業する等で、品質確認を行う。「塗布後、フランジ閉鎖までの時間」については、塗布作業時間を管理することで品質確認を行う。

⑤「改良E P D M製シール材+バックアップシール材」のシール機能について

前述④で示す通り、バックアップシール材は重大事故環境においても優れた耐性をもつことが示されたため、「改良E P D M製シール材+バックアップシール材」を組み合わせることで、事故環境下における原子炉格納容器閉じ込め機能の更なる信頼性向上を図る計画を進めている。

改良E P D M製シール材は、事故時の耐環境性に優れていることを確認しているが、一般的に劣化モードとして酸化劣化があげられるため、長期シール性の信頼性を向上させるためには、劣化要因である酸素の高温状態曝露を回避することが必要になる。バックアップシール材は、フランジ外側ガスケット部よりも外周のフランジ面に塗布することから、改良E P D Mシール材への格納容器外側からの酸素供給を遮断する役割も果たすことができるため、酸化劣化によるシール機能低下を抑えることが可能である。

よって、事故発生後の改良E P D M製シール材の長期健全性を補強することができるため、当社の更なる格納容器閉じ込め機能強化対策として「改良E P D M製シール材+バックアップシール材」を採用する。その効果については事項で示す。

なお、フランジ部にバックアップシール材を塗布することに関するフランジ設計に対する影響評価については、別紙 - 16 において評価している通りであり、フランジへの悪影響はないものと考えている。

⑥ 事故後長期間のシール機能について

重大事故時の格納容器閉じ込め機能の信頼性を強化するために、「改良 EPDM+バックアップシール材」を組合せ、事故後 168 時間以降の長期におけるシール機能について試験により確認した（試験装置を図 4-19 に示す）。前述の通り、バックアップシール材の 200℃状態における長期健全性を確認しており、有意な劣化が見られないことから、長期にわたって状態は変化せず、シール機能が確保されるものとする。また、改良 EPDM 製シール材とその外側にバックアップシール材を適用した条件で長期間高温曝露を実施した後に He 気密確認試験を実施しているが、少なくとも 45 日間の高温曝露（200℃）を経験しても、気密性に問題ないことが確認できている。試験の詳細は、別紙 - 5「バックアップシール材の試験について」の「(4)長時間試験」で示す。

なお、原子炉格納容器閉じ込め機能として最も厳しいシナリオである「大LOCA+SB0+ECCS機能喪失」について、事故後168時間以降も有効性評価で使用した設備以外は復旧せず、フィードアンドブリードを続けたとした場合、事故発生から30日後のドライウェル温度は130℃以下であることが評価で示されている。従って、これよりも過酷な200℃状態が30日間継続しても格納容器閉じ込め機能は健全であることが試験により確認できているため、事故後長期のシール性向上のためには「改良EPDM+バックアップシール材」は有効であると考えている。



図4 - 19 「改良EPDM+バックアップシール材」 組合せ試験装置

表4 - 32 「改良EPDM+バックアップシール材」 組合せ試験結果

試験体	曝露状態	曝露期間	改良EPDM 放射線曝露	加圧 媒体	試験 圧力	試験結果
改良EPDM+	乾熱200℃	30日	800kGy	He	0.9MPa	漏えいなし
バックアップシール材	乾熱200℃	45日	800kGy	He	0.9MPa	漏えいなし

4.3 評価まとめ

機器搬入用ハッチの健全性評価結果を表4 - 33に示す。

表4 - 33 機器搬入用ハッチの健全性評価結果

No	大項目	評価方法	評価	結果
(1)	本体の耐圧	①応力評価	200℃, 2Pdにおける各部の応力評価を実施	○
		②既往研究を用いた評価	2Pdにおける健全性を, NUPEC実施のハッチモデル試験を用いて評価	○
(2)	フランジ固定部の強度	①締付ボルト評価	200℃, 2Pdにおける締付ボルトの応力評価を実施	○
		②フランジの開口評価	200℃, 2Pdにおけるフランジ開口を評価 (以下(3)ガスケットの健全性と併せて健全性評価を行う)	—
(3)	ガスケットの健全性	シール材劣化, PCV開口量評価, バックアップシール材試験結果を用いた評価	「改良E P D M製シール材」で200℃, 2Pdにおけるシール機能を評価 更なる安全対策向上として「改良E P D Mシール材+バックアップシール材」を適用することにより, 改良E P D M製シール材の長期信頼性を補強する。	○

5. エアロック

5.1 評価方針

エアロックは、円筒胴が原子炉格納容器のコンクリート躯体に溶接固定されており、円筒胴の両端に人が出入りする開口部を設けた平板（隔壁）を溶接している。この開口部に柵板（隔壁）を溶接し、柵板の前面を開閉扉で塞ぐ構造である。柵板の前面と扉間のシールには改良 EPDM のガスケットを使用している。なお、トップヘッドフランジやハッチ類と異なり、原子炉格納容器加圧時はエアロック扉が支持部に押しつけられる構造となっているため、扉板が開くことはない。

また、扉には均圧弁に繋がる配管や扉開閉ハンドル軸が貫通しており、均圧弁接続配管及び扉開閉ハンドル軸貫通部にシール材を使用している。

エアロック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 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、有意な圧縮力がエアロック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一方、高温状態で原子炉格納容器内圧を受けるため、過渡な塑性変形に伴う延性破壊が機能喪失要因として想定される。そのため、エアロック本体の塑性変形に伴う延性破壊、また、扉の変形及びシール材の高温劣化によるシール機能の低下が考えられ、200℃、2Pd での健全性の確認には、以下の評価が必要である。

- ・ 本体の耐圧
- ・ シール部の健全性

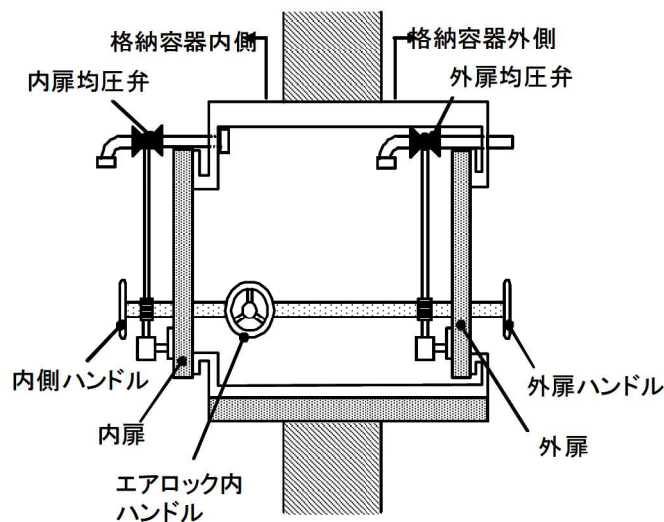


図 5 - 1 所員用エアロック

(1) 本体の耐圧

①一次応力評価

エアロックにおける構造健全性評価として、上部ドライウェル所員用エアロック、下部ドライウェル所員用エアロックのうち内圧による荷重を受け止める部位のうち、扉、隔壁、円筒胴について一次一般膜応力評価、貫通部アンカ及びコンクリート部については一次応力評価等を行い、発生応力が許容応力以下であることを確認する。

ここで、設計・建設規格の解説表 PVB - 3110 - 1 において、延性破壊評価は一次応力の評価を実施することとなっている。一方、設計・建設規格における一次応力強さの許容値は、材料の種類及び温度毎に材料試験（引張試験）を実施した結果をもとに国内 Su 値検討会で設定された設計引張強さ（Su）に割下げ率を考慮して設定されたものである（設計・建設規格 解説 GNR - 2200）。

今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超過するスリーブの限界温度及び許容圧力の妥当性を確認するものであるため、上記割下げ率を P_m （一次一般膜応力強さ）には 1.5, $P_L + P_b$

(一次局部膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ)には 1.0 とした評価を行う。すなわち、スリーブに発生する応力が、 P_m が $2/3Su$ 、 P_L+P_b が Su 以下であれば、延性破壊には至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できると考えている。

この許容値の考え方は、設計・建設規格 解説 PVB - 3111 に示すように、許容状態 D の P_m 、 P_L+P_b の許容値と同等である、なお、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定（原子炉冷却材喪失事故を想定）に保証を与える目的で応力評価を行う設計・建設規格の供用状態 D の許容応力は、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、 P_m は $2/3Su$ 、 P_L+P_b は $1.5 \times 2/3Su (=Su)$ と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が Su に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が Su に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。

(2) ガasketの健全性

① 扉のシール材

エアロックの扉のシール材には、これまでシリコンガスケットを使用しているが、事故時の耐環境性に優れた改良 EPDM 製シール材に変更する。エアロック扉閉止時は、扉は原子炉格納容器内圧により扉板が支持部に押付けられる構造であり、圧力により扉板が開くことはない。しかし、内圧が負荷される面積が大きいことから、この原理でガスケット部の微小な開口が予想されるため、圧力による開口量を理論式に基づき評価する。このシール部に発生する最大隙間がエアロックと材質・シ

ール方式が同一のトップヘッドフランジ及び機器搬入口のガスケットの試験結果で漏えいが無いとされる隙間以下であることを確認する。なお、シール材の高温劣化については、事故時の扉が押し付けられる方向にあること、及び、扉が2重に設けられることから、トップヘッドフランジ・ハッチ類と比べて原子炉格納容器閉じ込め機能への影響度は小さいと考えているため、本章では評価対象外とする。なお、エアロックのシール材は、プラントの定期検査時に開放される場合には取り替えを実施しており、通常運転中における劣化は極めて軽微であることから、事故条件下での評価を実施する。

②扉以外のシール材

エアロックには、扉のガスケット以外に格納容器閉じ込め機能を確保するための隔壁貫通部にシール材が使用されているが、今後、事故時の耐環境性に優れた表5-1～5-2に示すシール材に変更する。

ハンドル軸貫通部Oリングに使うシール材は従来、ふっ素ゴムを用いていたが、事故時環境の耐性に優れた改良EPDM製シール材に変更することとし、基本特性試験結果により重大事故環境下における健全性を確認する。

均圧弁に使われているシール材（ふっ素樹脂）は、重大事故環境下の放射線による影響で、シール機能が劣化することが考えるため、耐環境性に優れたシール材を適用した均圧弁への改良を行うか、エアロック外扉を貫通する均圧弁接続配管の原子炉建屋側の開放部に、耐環境性に優れたシール材（改良EPDM）をもつ閉止フランジを取付け、従来品の均圧弁と閉止フランジを組み合わせることで重大事故環境下における健全性を確認する。なお、これらのシール材は、通常運転中における劣化

は極めて軽微であることから、事故条件下での評価を実施する。

表 5 - 1 6号炉 エアロック（扉以外）のシール材

対象部位	シール材
ハンドル軸貫通部Oリング	改良E P D M
均圧弁	均圧弁の改良 又は 閉止フランジ+改良E P D M

表 5 - 2 7号炉 エアロック（扉以外）のシール材

対象部位	シール材
ハンドル軸貫通部Oリング	改良E P D M
均圧弁	均圧弁の改良 又は 閉止フランジ+改良E P D M

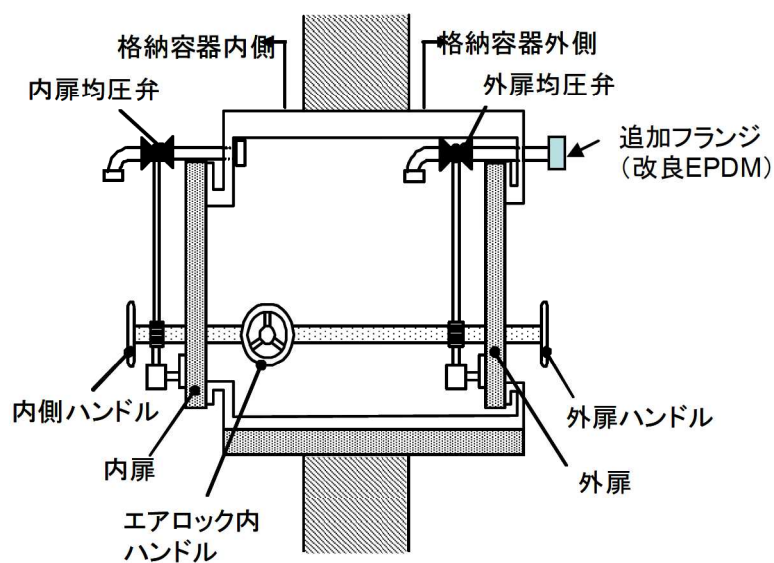


図 5 - 2 均圧弁及びハンドル軸貫通部

これらシール材について，単体劣化試験結果を元に，原子炉格納容器
200℃，2Pd の環境における健全性を評価する。

5.2 評価結果

(1) 本体の耐圧

① 一次応力評価

エアロックの構造健全性について、建設時工認の応力値を用いて原子炉格納容器限界温度・圧力（200℃，2Pd）における応力評価を実施した結果を示す。評価部位として、上部ドライウェル所員用エアロック及び下部ドライウェル所員用エアロックを選定し、各エアロックのうち内圧による荷重を受け止める部位（扉、隔壁、円筒胴、貫通部アンカ及びコンクリート部）を選択し、発生応力を評価した。評価結果のまとめを表5-5～5-22に示す。これらの結果から、200℃，2Pd条件下においてエアロックの構造健全性を確認した。

表5-3 上部ドライウェル所員用エアロックの主要仕様

項目	柏崎刈羽6号炉	柏崎刈羽7号炉
最高使用圧力 (MPa)	0.31	0.31
最高使用温度 (℃)	171	171
材料	SGV480	SGV480
スリーブ直径 (mm)		
スリーブ厚さ (mm)		
内側隔壁厚さ (mm)		
外側隔壁厚さ (mm)		
内側扉厚さ (mm)		
外側扉厚さ (mm)		

表 5 - 4 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（所員用エアロック付），下部ドライウェル所員用エアロックの主要仕様

項目		柏崎刈羽 6 号炉	柏崎刈羽 7 号炉
最高使用圧力 (MPa)		0.31	0.31
最高使用温度 (°C)		171	171
材料		SGV480	SGV480
アクセス トンネル	スリーブ直径 (mm)		
	スリーブ厚さ (mm)		
	鏡板厚さ (mm)		
所員用 エアロック	スリーブ直径 (mm)		
	スリーブ厚さ (mm)		
	内側隔壁厚さ (mm)		
	外側隔壁厚さ (mm)		
	内側扉厚さ (mm)		
	外側扉厚さ (mm)		

【6号炉】上部ドライウェル所員用エアロックの構造健全性評価結果
(200°C, 2Pd)

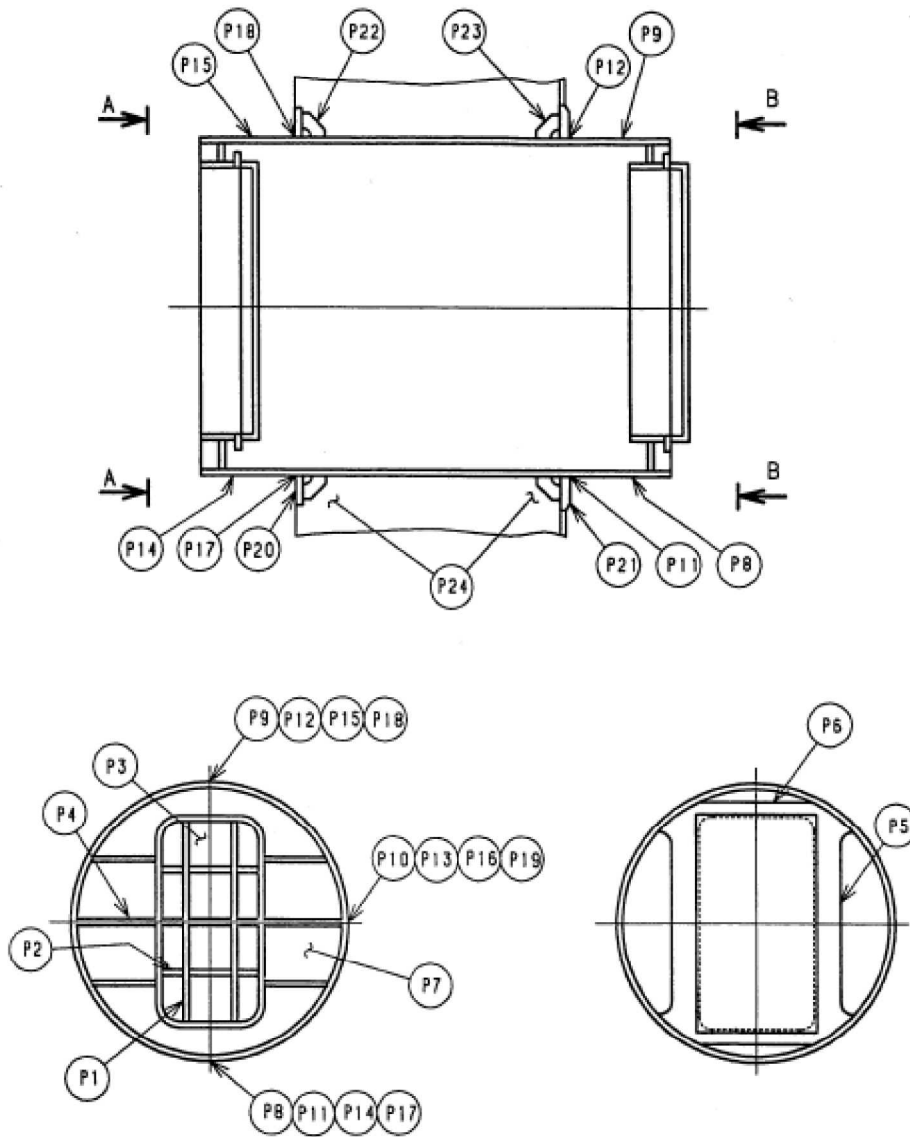


図5-3 上部ドライウェル所員用エアロック

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 5 - 5 扉及び隔壁の応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力		応力比
		P _L +P _b		
		応力強さ	許容値	
P1	内外扉垂直部材	[Redacted]	422	[Redacted]
P2	内外扉水平部材		422	
P3	内外扉板		422	
P4	内外隔壁外側水平部材		422	
P5	内外隔壁内側垂直部材		422	
P6	内外隔壁内側水平部材		422	
P7	内外隔壁板		422	

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 5 - 6 鋼製耐圧部の応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力 比
		P _m		P _L +P _b		
		応力 強さ	許容 値	応力 強さ	許容 値	
P8	上部ドライウェル所員		281		422	
P9	用		281		422	
P10	エアロック内側円筒胴		281		422	
P11	上部ドライウェル所員		—		422	
P12	用エアロック内側円筒		—		422	
P13	胴のフランジプレート との結合部		—		422	
P14	上部ドライウェル所員		281		422	
P15	用		281		422	
P16	エアロック外側円筒胴		281		422	
P17	上部ドライウェル所員		—		422	
P18	用エアロック外側円筒		—		422	
P19	胴のフランジプレート との結合部		—		422	

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 5 - 7 貫通部アンカの応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	曲げ応力		せん断応力		応力比	
		応力	許容 応力	応力	許容 応力	曲げ	せん断
P21	フランジプレート(内側)		312		156		
P23	ガセットプレート(内側)		—		156		

表 5 - 8 コンクリート部の応力評価 (単位 : N/mm²)

応力 評価点 番号	応力評価点	圧縮応力		応力比
		フランジ プレート (内側) 近傍	許容応力	
P24	コンクリート部		27.5	

【6号炉】下部ドライウェル所員用エアロックの構造健全性評価結果
(200°C, 2Pd)

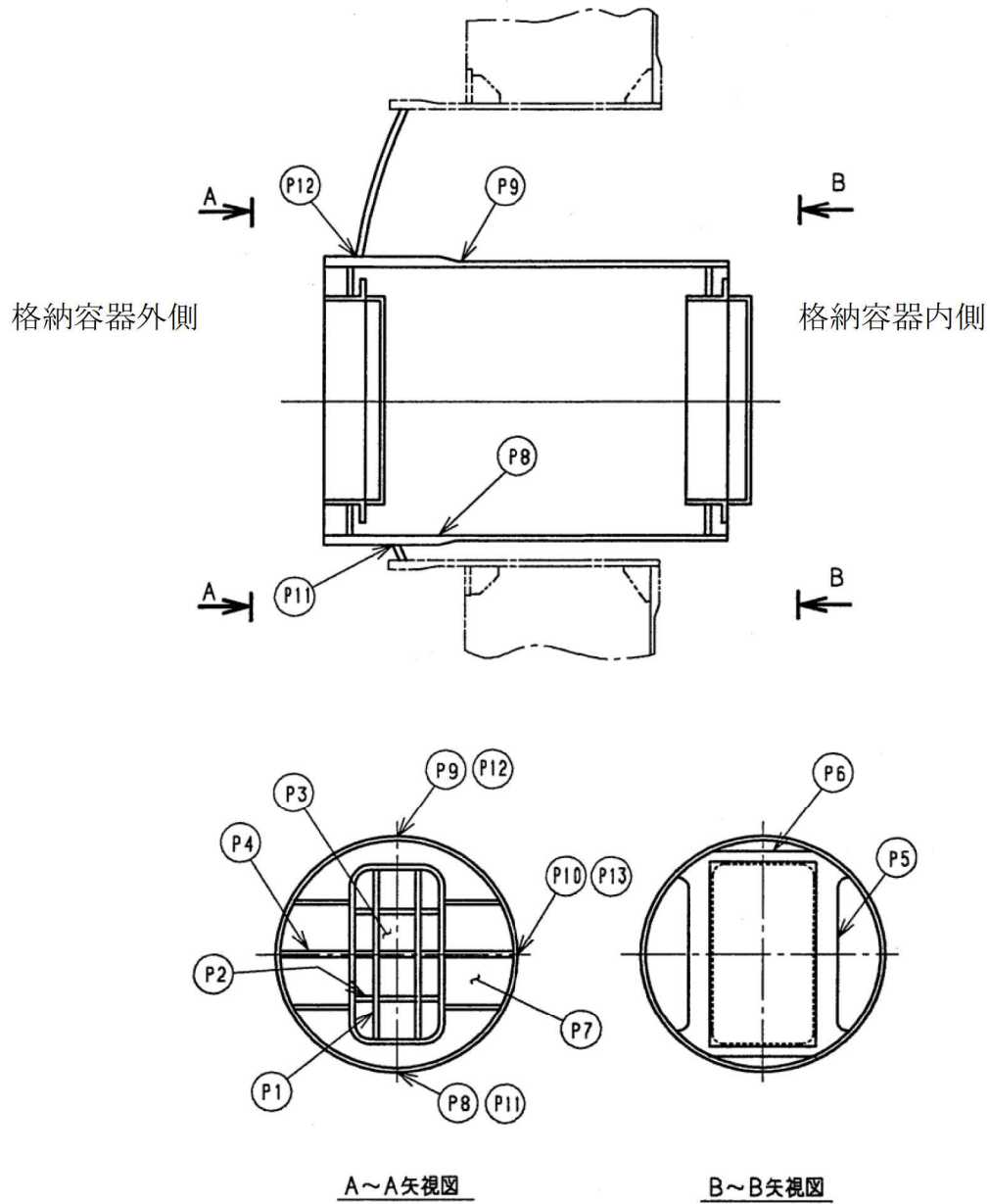


図5-4 下部ドライウェル所員用エアロック

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 5 - 9 扉及び隔壁の応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力		応力比
		P _L +P _b		
		応力強さ	許容値	
P1	内外扉垂直部材		422	
P2	内外扉水平部材		422	
P3	内外扉板		422	
P4	内外隔壁外側水平部材		422	
P5	内外隔壁内側垂直部材		422	
P6	内外隔壁内側水平部材		422	
P7	内外隔壁板		422	

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 5 - 10 鋼製耐圧部の応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力 比
		P _m		P _t +P _b		
		応力 強さ	許容 値	応力 強さ	許容 値	
P8	下部ドライウェル所員用 エアロック円筒胴	[Redacted]	281	[Redacted]	422	[Redacted]
P9			281		422	
P10			281		422	
P11	下部ドライウェル所員用	[Redacted]	—	[Redacted]	422	[Redacted]
P12	エアロック円筒胴と鏡板	[Redacted]	—	[Redacted]	422	[Redacted]
P13	との結合部	[Redacted]	—	[Redacted]	422	[Redacted]

【6号炉】下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（所員用エアロック付）の構造健全性評価結果（200℃，2Pd）

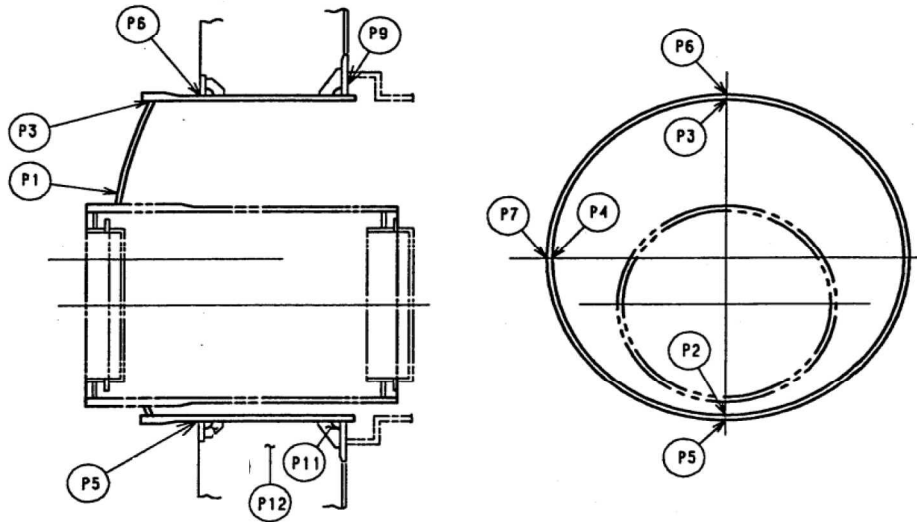


図5-5 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板
(所員用エアロック付)

表 5 - 11 鋼製耐圧部の応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力 比
		P _m		P _L +P _b		
		応力 強さ	許容 値	応力 強さ	許容 値	
P1	鏡板	—	—	[Redacted]	422	[Redacted]
P2	鏡板のスリーブとの結合部	—	—		422	
P3		—	—		422	
P4		—	—		422	
P5	スリーブのフランジプレートと の結合部	—	—		422	
P6		—	—		422	
P7		—	—		422	

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 5 - 12 貫通部アンカの応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力 評価点	一次応力				応力比	
		曲げ応力		せん断応力			
		応力	許容 応力	応力	許容 応力	曲げ	せん断
P9	フランジ プレート (内側)	[]	440	[]	220	[]	[]
	ガセット プレート (内側)		—		156		

表 5 - 13 コンクリート部の応力評価まとめ (単位 : N/mm²)

応力 評価点 番号	応力評価点	圧縮応力		応力比
		フランジ プレート (内側) 近傍	許容応力	
		P12	コンクリート部	[]

【7号炉】上部ドライウェル所員用エアロックの構造健全性評価結果
 (200°C, 2Pd)

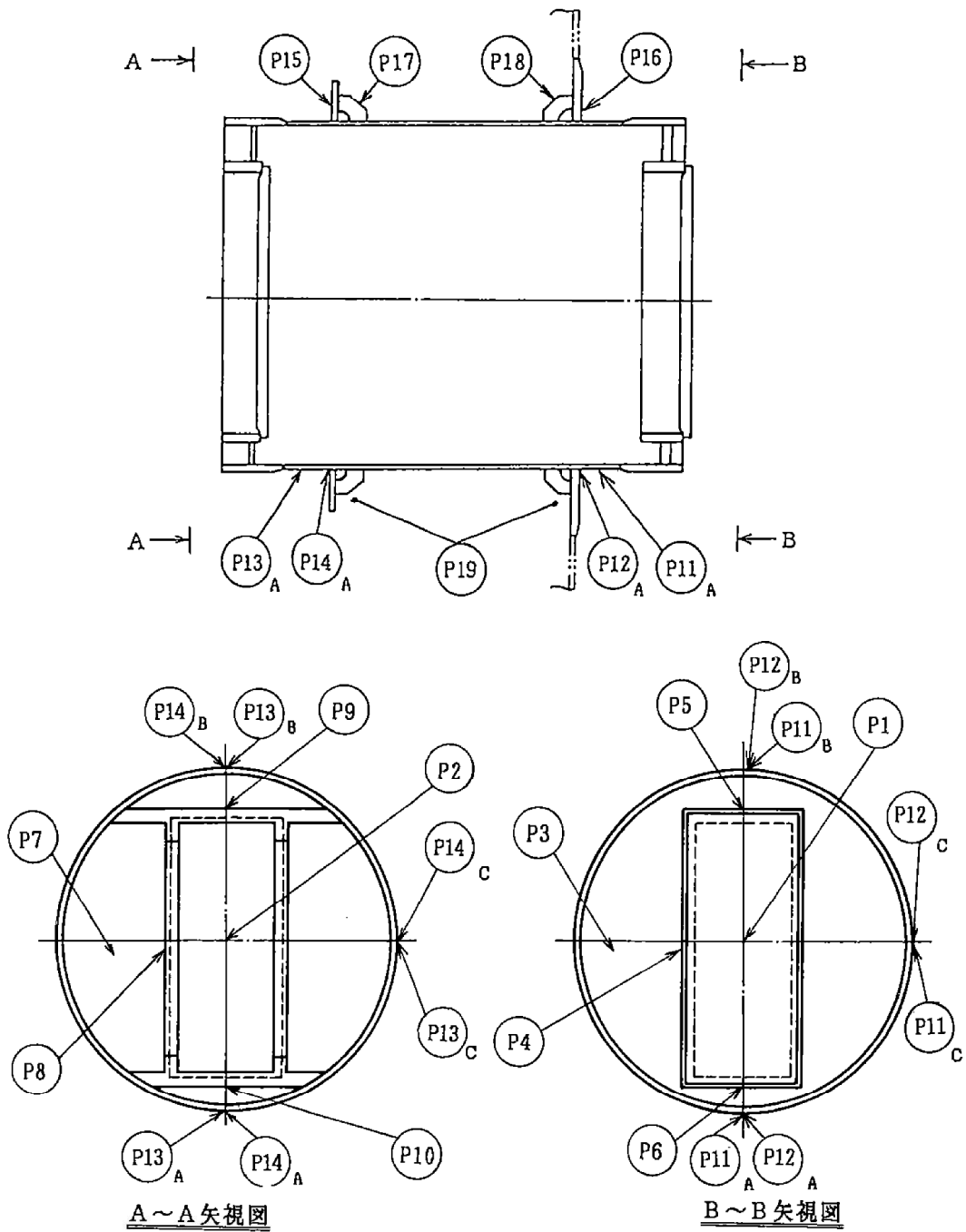


図5-6 上部ドライウェル所員用エアロック

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 5 - 14 扉及び隔壁の応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力		応力比
		P _L +P _b		
		応力強さ	許容値	
P1	内側扉		422	
P2	外側扉		422	
P3	内側隔壁板		422	
P4	内側隔壁垂直部材		422	
P5	内側隔壁上部水平部材		422	
P6	内側隔壁下部水平部材		422	
P7	外側隔壁板		422	
P8	外側隔壁垂直部材		422	
P9	外側隔壁上部水平部材		422	
P10	外側隔壁下部水平部材		422	

表 5 - 15 鋼製耐圧部の応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力 比
		P _m		P _L +P _b		
		応力 強さ	許容 値	応力 強さ	許容 値	
P11	所員用エアロック内側 円筒胴		281		422	
P12	所員用エアロック内側 円筒胴のフランジプレ ートとの結合部		—		422	
P13	所員用エアロック外側 円筒胴		281		422	
P14	所員用エアロック外側 円筒胴のフランジプレ ートとの結合部		—		422	

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 5 - 16 貫通部アンカの応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	曲げ応力		せん断応力		応力比	
		応力	許容 応力	応力	許容 応力	曲げ	せん断
P16	フランジプレート(内側)	[]	312	[]	156	[]	
P18	ガセットプレート(内側)		—		156		

表 5 - 17 コンクリート部の応力評価 (単位 : N/mm²)

応力 評価点 番号	応力評価点	圧縮応力		応力比
		フランジ プレート (内側) 近傍	許容応力	
P19	コンクリート部	[]	27.5	[]

【7号炉】下部ドライウェル所員用エアロックの構造健全性評価結果
(200°C, 2Pd)

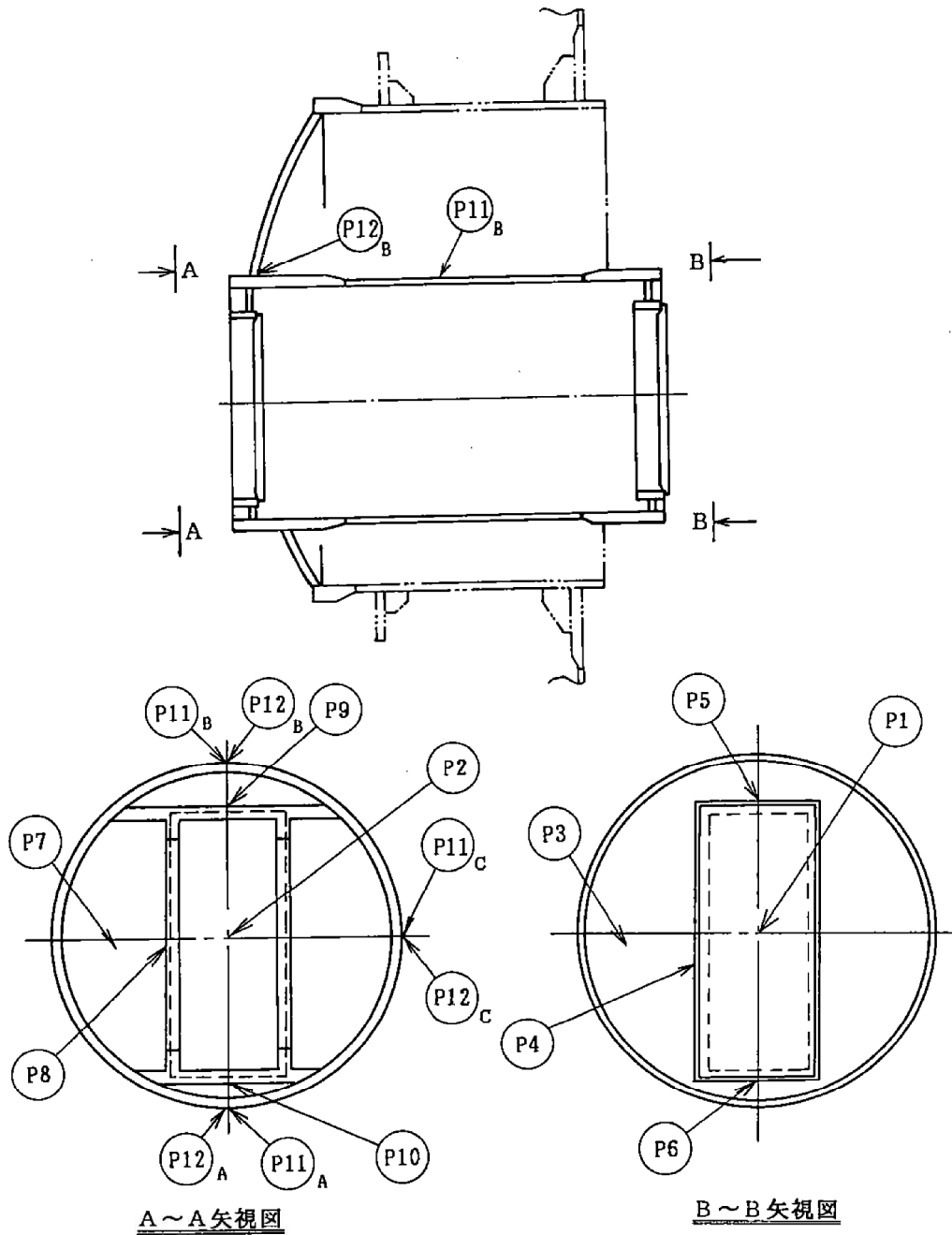


図5-7 下部ドライウェル所員用エアロック

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 5 - 18 扉及び隔壁の応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力		応力比
		P _L +P _b		
		応力強さ	許容値	
P1	内側扉		422	
P2	外側扉		422	
P3	内側隔壁板		422	
P4	内側隔壁垂直部材		422	
P5	内側隔壁上部水平部材		422	
P6	内側隔壁下部水平部材		422	
P7	外側隔壁板		422	
P8	外側隔壁垂直部材		422	
P9	外側隔壁上部水平部材		422	
P10	外側隔壁下部水平部材		422	

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 5 - 19 鋼製耐圧部の応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力 比
		P _m		P _L +P _b		
		応力 強さ	許容 値	応力 強さ	許容 値	
P11	所員用エアロック内側円筒胴		281		422	
P12	所員用エアロック内側円筒胴の鏡板との結合部		—		422	

【7号炉】下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（所員用エアロック付）の構造健全性評価結果（200℃，2Pd）

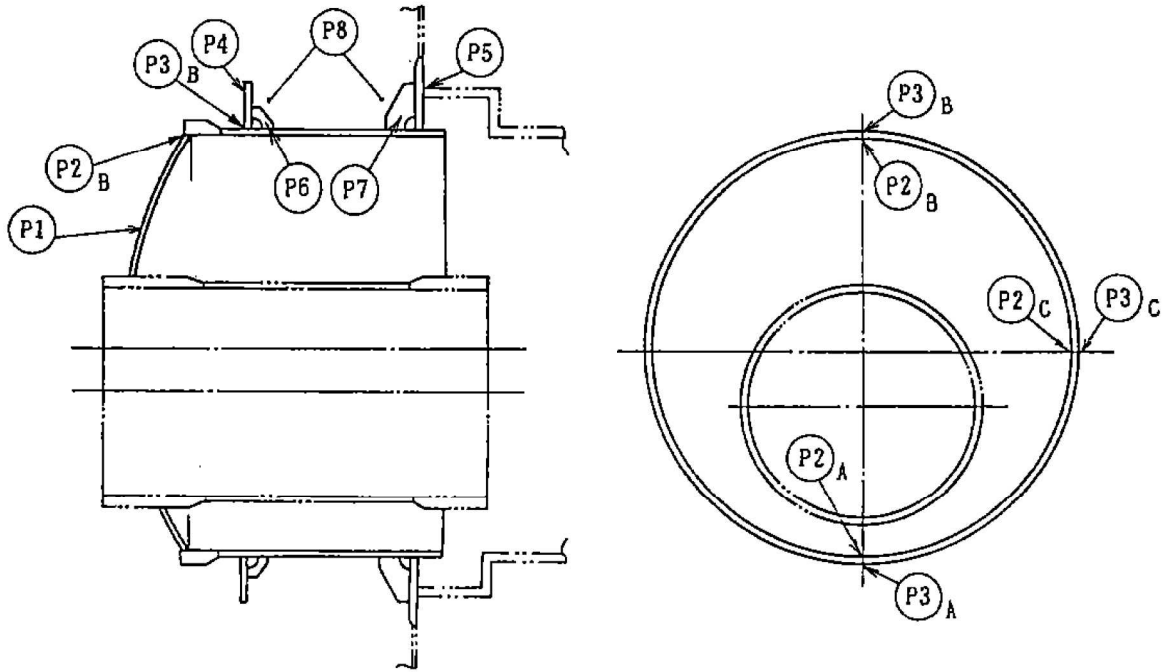


図5-8 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板
(所員用エアロック付)

表5-20 鋼製耐圧部の応力評価まとめ（単位：MPa）

応力 評価点 番号	応力評価点	一次応力				応力 比
		P_m		P_L+P_b		
		応力 強さ	許容 値	応力 強さ	許容 値	
P1	鏡板	—	—		422	
P2	鏡板のスリーブとの結合部	—	—		422	
P3	スリーブのフランジとの結合部	—	—		422	

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 5 - 21 貫通部アンカの応力評価まとめ (単位 : MPa)

応力 評価点 番号	応力 評価点	一次応力				応力比	
		曲げ応力		せん断応力		曲げ	せん断
		応力	許容 応力	応力	許容 応力		
P5	フランジ プレート (内側)		439		219		
P7	ガセット プレート (内側)		—		156		

表 5 - 22 コンクリート部の応力評価まとめ (単位 : N/mm²)

応力 評価点 番号	応力評価点	圧縮応力		応力比
		フランジ プレート (内側) 近傍	許容応力	
		P8	コンクリート部	

(2) ガスケットの健全性

①扉のシール材（改良E PDM）

所員用エアロックの扉板は、内圧を受けた場合に扉板が支持部に押付けられる構造であり、圧力により扉板が開くことはない。しかし、内圧が負荷される面積が大きいことから、この原理でガスケット部の微小な開口が予想されるため、圧力による開口量を理論式に基づき評価し、この開口が生じた場合でも、ガスケット部のシール機能が維持されることを確認する。6号炉と7号炉でエアロック扉構造が大きく異なるので、本件については6号炉と7号炉を別けて評価する。

① - 1 6号炉のエアロック扉開口量評価

圧力による扉板の変形を図5 - 9に示すはりでモデル化する。このとき、ガスケット部の変位量 δ は、次式で求められる。

$$\delta = \frac{w \cdot L1}{24EI} (3L1^3 + 6L1^2 \times L2 - L2^3) = -0.25(mm)$$

ここで、評価に使用した各数値を表5 - 23 に示す。

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

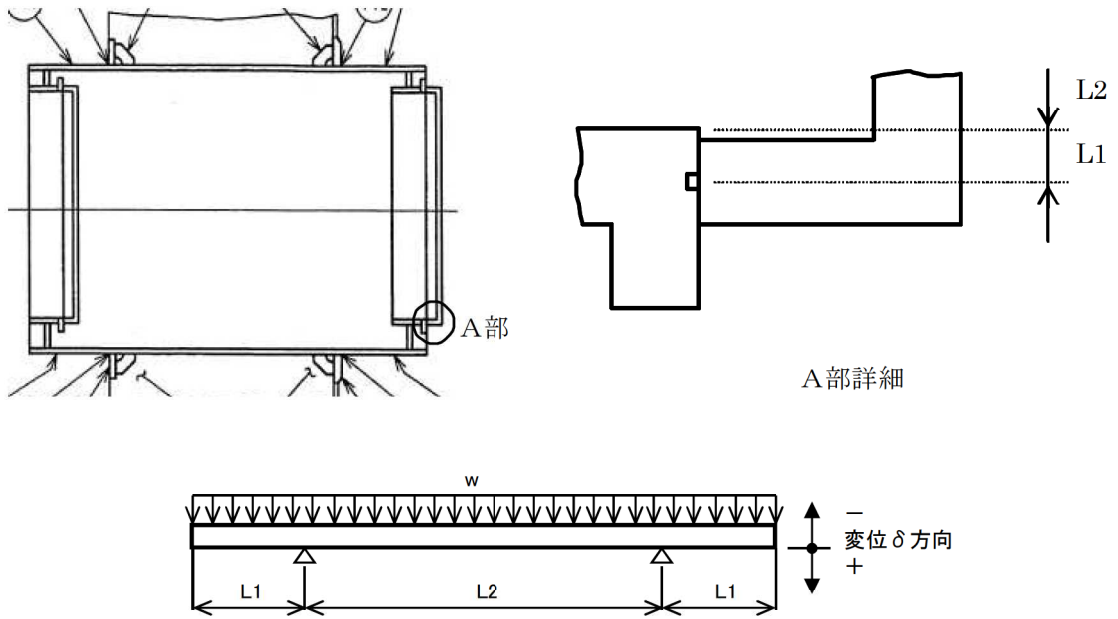


図5 - 9 所員用エアロック 開口量評価モデル(6号炉)

表5 - 23 所員用エアロックのシール機能維持(6号炉)

記号	内容	値
w	扉に加わる荷重 (=2Pd×幅 <input type="text"/>)	
L1	長さ	
L2	長さ	
E	縦弾性係数(200℃)	191000 MPa
I	断面二次モーメント	<input type="text"/>
δ	変位量	-0.25 mm

初期押込み量は [] であり、ガスケット部の変位量 δ は [] となる。これは、格納容器限界温度 200°C が 7 日間継続した際の改良 EPDM の圧縮永久歪み試験結果 ([]) から算出されるシール材追従量 [] [] に十分余裕をもった値であることから、有効性確認評価における限界温度、圧力としている 200°C、2Pd 条件下においてもシール機能は維持される。

① - 2 7号炉のエアロック扉開口量評価

圧力による扉板の変形を図5 - 10に示すはりでモデル化する。このとき、ガスケット部の変位量 δ は、次式で求められる。

$$\delta = \frac{w \cdot L1}{24EI} (3L1^3 + 6L1^2 \times L2 - L2^3) = -1.12 \text{ (mm)}$$

ここで、評価に使用した各数値を表5 - 24 に示す。

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

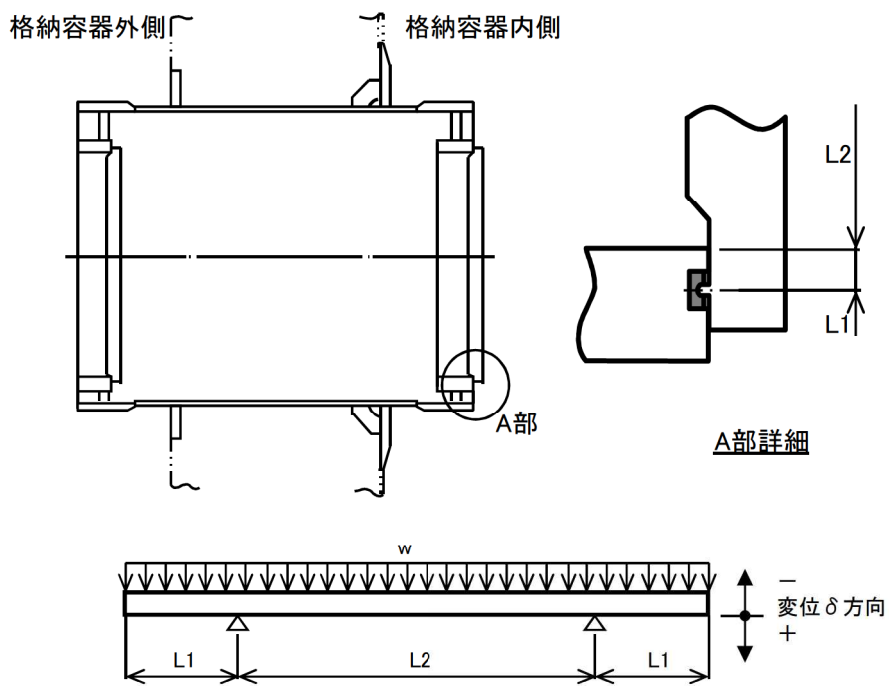


図5 - 10 所員用エアロック 開口量評価モデル (7号炉)

表5 - 24 所員用エアロックのシール機能維持(7号炉)

記号	内容	値
w	扉に加わる荷重 (=2Pd×幅 <input type="text"/>)	
L1	長さ	
L2	長さ	
E	縦弾性係数(200℃)	191000 MPa
I	断面二次モーメント	
δ	変位量	-1.12 mm

初期押込み量は [] であり、ガスケット部の変位量 δ は [] となる。これは、格納容器限界温度 200°C が 7 日間継続した際の改良 EPDM の圧縮永久歪み試験結果 ([]) から算出されるシール材追従量 [] [] に十分余裕をもった値であることから、有効性確認評価における限界温度、圧力としている 200°C、2Pd 条件下においてもシール機能は維持される。

② 扉以外のシール材

エアロックには、扉のガスケット以外に格納容器閉じ込め機能を確保するための隔壁貫通部にシール材が表 5 - 1 ~ 5 - 2 の通り使用されている。

ハンドル軸貫通部 Oリングに使われているシール材（改良 EPDM）については、事故環境を模擬した雰囲気に曝した後の圧縮歪み試験結果が表 5 - 25 の通りであり、重大事故環境下における健全性を確認した。

表 5 - 25 改良 EPDM シール材の圧縮永久歪み試験結果

No	放射線照射	ガス性状	温度	圧縮永久ひずみ試験		
				24h	72h	168h
1	800kGy	乾熱	200°C	[]	[]	[]
2	800kGy	乾熱	250°C			
3	800kGy	蒸気	200°C			
4	800kGy	蒸気	250°C			

均圧弁に使われているシール材（ふっ素樹脂）は，重大事故環境下の放射線による影響で，シール機能が劣化することが考えられるため，耐環境性に優れたシール材を適用した均圧弁への改良を行うか，エアロック外扉を貫通する均圧弁接続配管の原子炉建屋側の開放部に，耐環境性に優れたシール材（改良E PDM）をもつ閉止フランジを取付け，従来品の均圧弁と閉止フランジを合わせることで重大事故環境下における健全性を確保する。

<均圧弁シートの材質について>

均圧弁シートについて，耐環境性に優れたシール材に改善する検討を進めており，PEEK 材（PEEK:ポリエーテルエーテルケトン）を用いた弁シートにすることで実機適用性を確認することができた。以下に，実機適用を確認した概要を示す。

PEEK 材の一般的な仕様を以下に示す。従来品に使用されている均圧弁のシール材であるふっ素樹脂に対し，優れた耐放射線性を有している。

表 5 - 26 PEEK 材の一般物性

シール材	PEEK 材
耐熱使用温度	250℃
融点	334℃
線量限度（ γ 線）	約 10MGy

また、均圧弁に相当する弁を使用して、SA 時の格納容器内環境を模擬した以下試験条件で曝露し、その後、2Pd を超える 0.9MPa で漏えい試験を行い、気密性が確保できることを確認した。よって、本均圧弁は格納容器限界温度・圧力（200℃，2Pd）において健全性に問題ないことを確認した。

表 5 - 27 均圧弁の耐環境試験条件

放射線照射	800kGy
熱劣化	200℃ 168 時間

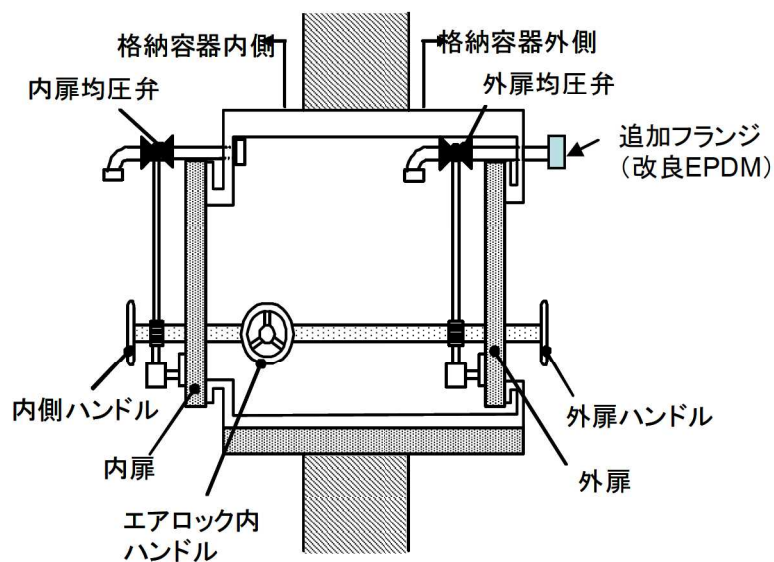


図5 - 11 均圧弁（追加フランジ付）及びハンドル軸貫通部