

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-20-0077_改1
提出年月日	2021年6月29日

VI-3-3-3-3-1-4 弁の強度計算書（残留熱除去系）

02 ③ VI-3-3-3-3-1-4 R0

2021年6月

東北電力株式会社

まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-2 クラス1機器の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法」並びに「VI-3-1-3 クラス2機器の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
E11-F008A, B	既設	有	無	DB-2	DB-2	—	無	3.73	186	—	—	無	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	DB-2
E11-F016A, B	既設	有	有*	DB-2	DB-1	—	無	8.62	302	—	—	無	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	DB-1
E11-F018A, B	既設	有	有*	DB-2	DB-1	—	無	10.40	302	—	—	無	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	DB-1
E11-F021	既設	有	有*	DB-2	DB-1	—	無	8.62	302	—	—	無	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	DB-1

注記*：原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲の拡大によるクラスアップ。

目次

1.	クラス1 弁	1
1.1	設計仕様	2
1.2	強度計算書	3
2.	クラス2 弁	12
2.1	設計仕様	13
2.2	強度計算書	14

1. クラス 1 弁

1.1 設計仕様

系統：残留熱除去系

機器の区分		クラス1弁				
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料			
			弁箱	弁ふた	弁体	ボルト
E11-F016A, B	止め弁	350	SCPH2	SCPH2	SCPH2	
E11-F018A, B	止め弁	300	SCPH2	SCPH2	S25C	
E11-F021	止め弁	100	SCPH2	SCPH2	S25C	

O2 ③ VI-3-3-3-1-4 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2 強度計算書

系統：残留熱除去系

弁番号	E11-F016A, B	シート	1
-----	--------------	-----	---

設計・建設規格				告示第501号		設計・建設規格		告示第501号	
設計条件						弁箱の一次+二次応力評価			
最高使用圧力 P (MPa)		8.62		弁箱の一次+二次応力評価					
最高使用温度 T _m (°C)		302		t _e (mm)					
弁箱材料		SCPH2		T _{e1} (mm)					
接続管材料				T _{e2} (mm)					
接続管外径 (mm)				r _i (mm)					
接続管内径 (mm)				θ (°)					
添付図番号	図 3-1	(5)		K					
	図 3-2	(2)		P _e (MPa)		91	89		
	図 3-3	(1), (2)		α × 10 ⁻⁶ (mm/mm°C)		12.69	12.63		
内圧による弁箱の一次応力評価				E (MPa)		187600	181619		
				C ₂		0.47			
P ₁ (MPa)		6.64	6.64	Δ T (°C)					
P ₂ (MPa)		9.95	9.96	C ₄					
P _{r1} (MPa)		6.90	6.89	Δ P _{fm} (MPa)					
P _{r2} (MPa)		10.34	10.35	Δ T _{fm} (°C)					
P _s (MPa)		8.96	8.96	S _n (1) (MPa)		180			
d (mm)				S _n (2) (MPa)		119			
T _b (mm)				3 · S _m (MPa)		399			
T _r (mm)				評価： S _n (1) ≤ 3 · S _m S _n (2) ≤ 3 · S _m よって十分である。					
L _A (mm)				弁箱の局部一次応力評価					
L _N (mm)				S (MPa)		153			
A _f (mm ²)				S _m (MPa)		299			
A _m (mm ²)				評価： S ≤ 2.25 · S _m よって十分である。					
r ₁ (mm)				配管反力による弁箱の二次応力評価					
S (MPa)		48		起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ					
S _m (MPa)		133		2.25 · S _m (MPa)		299			
評価： S ≤ S _m		よって十分である。		評価： S ≤ 2.25 · S _m よって十分である。					
A-A断面の弁外径 (mm)				C ₃					
A ₁ (mm ²)				Q _T (MPa)					
A ₂ (mm ²)				S _σ (1) (MPa)		114	112		
C _b		1.0	1.0	S _σ (2) (MPa)		129	126		
Z ₁ (mm ³)				E _m (MPa)		184760	178324		
Z ₂ (mm ³)				N (1)		134683	122777		
Z _p (mm ³)				N (2)		81450	74111		
S _y (MPa)		200	194	評価： N (1) ≥ 2000 N (2) ≥ 2000 よって十分である。					
P _d (MPa)		44	43						
P _b (MPa)		91	89						
P _t (MPa)		91	89						
1.5 · S _m (MPa)		199							
評価： P _d ≤ 1.5 · S _m P _b ≤ 1.5 · S _m P _t ≤ 1.5 · S _m		よって十分である。							

O2 ③ VI-3-3-3-1-4 R1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

繰返しピーク応力強さ（疲労累積係数） 告示第501号								
m	n	A _o	C ₅	S _n (MPa)	3・S _m (MPa)	3・m・S _m (MPa)		
3.00	0.20	0.66	1.02	129	400	1200		
ΔT _f (°C)	S _p (MPa)	K _e	S _σ (MPa)	N _i	N _{r i}	N _i /N _{r i}		
	803	—	402			0.0052		
	740	—	370			0.0508		
	235	—	118			0.0011		
	212	—	106			0.0001		
	182	—	91			0.0004		
評価：疲労累積係数 $I_t = \sum \frac{N_i}{N_{r i}} = 0.0576 \leq 1$ よって十分である。								
弁箱の形状規定 設計・建設規格				弁体の一次応力評価 設計・建設規格				
r ₁ (mm)				材料	SCPH2			
r ₂ (mm)				形式	W2			
0.3・t (mm)				P (MPa)	8.62			
0.05・t (mm)				P _c (P ₁ , P ₂) (N)				
0.1・h (mm)				h (mm)				
d _n /d _m				a (mm)				
評価：r ₁ ≥ 0.3・t r ₂ ≥ Max (0.05・t, 0.1・h) $\frac{d_n}{d_m} < 2$ よって十分である。				b (mm)				
				σ _D (MPa)			55	
				1.5・S _m (MPa)			188	
				評価：σ _D ≤ 1.5・S _m よって十分である。				

O2 ③ VI-3-3-3-1-4 R1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)	8.62		d_n (mm)	
最高使用温度 T_m (°C)	302		d_n / d_m	
弁箱又は弁ふたの厚さ			t_m (mm)	21.0
弁箱材料	SCPH2		t_{ma} (mm)	
弁ふた材料	SCPH2		評価： $t_{ma} \geq t_m$ よって十分である。	
P_1 (MPa)	6.64	—		
P_2 (MPa)	9.95	—		
d_m (mm)				
t_1 (mm)	18.7	—		
t_2 (mm)	22.5	—		
t (mm)	21.0	—		
t_{ab} (mm)				
t_{af} (mm)				
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。				

O2 ③ VI-3-3-3-1-4 R0

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
P_{FD} (MPa)	12.11	H_D (N)	1.373×10^6
P_{eq} (MPa)	3.49	h_D (mm)	94.0
T_m (°C)	302	M_D (N・mm)	1.290×10^8
M_e (N・mm)		H_G (N)	8.337×10^5
F_e (N)		h_G (mm)	95.4
フランジの形式	JIS B 8265 附属書3 図27)	M_G (N・mm)	7.950×10^7
フランジ		H_T (N)	4.450×10^5
材料	SCPH2	h_T (mm)	109.7
σ_{fa} (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	160	M_T (N・mm)	4.881×10^7
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	125	M_o (N・mm)	2.573×10^8
A (mm)		M_g (N・mm)	4.657×10^8
B (mm)		フランジの厚さと係数	
C (mm)		t (mm)	
g_o (mm)		K	1.87
g_1 (mm)		h_o (mm)	
h (mm)		f	1.00
ボルト		F	0.834
材料		V	0.309
σ_a (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	242	e (mm ⁻¹)	0.00656
σ_b (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	197	d (mm ³)	2669082
n		L	1.60
d_b (mm)		T	1.56
ガスケット		U	3.60
材料		Y	3.27
ガスケット厚さ (mm)		Z	1.80
G (mm)		応力の計算	
m		σ_{Ho} (MPa)	127
y (N/mm ²)		σ_{Ro} (MPa)	69
b_o (mm)		σ_{To} (MPa)	60
b (mm)		σ_{Hg} (MPa)	191
N (mm)		σ_{Rg} (MPa)	124
G_s (mm)		σ_{Tg} (MPa)	109
ボルトの計算		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ よって十分である。	
H (N)	1.818×10^6		
H_p (N)	8.337×10^5		
W_{m1} (N)	2.651×10^6		
W_{m2} (N)	7.911×10^5		
A_{m1} (mm ²)	1.341×10^4		
A_{m2} (mm ²)	3.269×10^3		
A_m (mm ²)	1.341×10^4		
A_b (mm ²)			
W_o (N)	2.651×10^6		
W_g (N)	4.884×10^6		
評価： $A_m < A_b$	よって十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計・建設規格				告示第501号		設計・建設規格		告示第501号	
設計条件				弁箱の一次+二次応力評価					
最高使用圧力 P (MPa)		10.40		t_e (mm)					
最高使用温度 T_m (°C)		302		T_{e1} (mm)					
弁箱材料		SCPH2		T_{e2} (mm)					
接続管材料				r_i (mm)					
接続管外径 (mm)				θ (°)					
接続管内径 (mm)				K		1.00			
添付図番号	図 3-1	(4)		P_e (MPa)		111		108	
	図 3-2	(4)		$\alpha \times 10^{-6}$ (mm/mm°C)		12.69		12.63	
	図 3-3	(3), (4)		E (MPa)		187600		181619	
内圧による弁箱の一次応力評価				C_2		0.49			
P_1 (MPa)		9.95		9.96		ΔT (°C)			
P_2 (MPa)		14.95		14.93		C_4			
P_{r1} (MPa)		10.34		10.35		ΔP_{fm} (MPa)			
P_{r2} (MPa)		15.51		15.51		ΔT_{fm} (°C)			
P_s (MPa)		10.81		10.81		$S_n(1)$ (MPa)		228	
d (mm)						$S_n(2)$ (MPa)		96	
T_b (mm)						$3 \cdot S_m$ (MPa)		399	
T_r (mm)						評価： $S_n(1) \leq 3 \cdot S_m$ $S_n(2) \leq 3 \cdot S_m$ よって十分である。			
L_A (mm)						弁箱の局部一次応力評価			
L_N (mm)									
A_f (mm ²)									
A_m (mm ²)									
r_1 (mm)									
S (MPa)		79		79		S (MPa)		192	
S_m (MPa)		133		133		$2.25 \cdot S_m$ (MPa)		299	
評価： $S \leq S_m$ よって十分である。				評価： $S \leq 2.25 \cdot S_m$ よって十分である。					
配管反力による弁箱の二次応力評価				起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ					
A-A断面の弁外径 (mm)						C_3			
A_1 (mm ²)						Q_T (MPa)			
A_2 (mm ²)						$S\ell(1)$ (MPa)		143	
C_b		1.0		1.0		$S\ell(2)$ (MPa)		158	
Z_1 (mm ³)						E_m (MPa)		184760	
Z_2 (mm ³)						N (1)		49592	
Z_p (mm ³)						N (2)		35859	
S_y (MPa)		200		194		評価： $N(1) \geq 2000$ $N(2) \geq 2000$ よって十分である。			
P_d (MPa)		57		55					
P_b (MPa)		111		108					
P_t (MPa)		111		108					
$1.5 \cdot S_m$ (MPa)		199		199					
評価： $P_d \leq 1.5 \cdot S_m$ $P_b \leq 1.5 \cdot S_m$ $P_t \leq 1.5 \cdot S_m$ よって十分である。									

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

繰返しピーク応力強さ（疲労累積係数） 告示第501号								
m	n	A _o	C ₅	S _n (MPa)	3・S _m (MPa)	3・m・S _m (MPa)		
3.00	0.20	0.66	0.94	98	400	1200		
ΔT _f (°C)	S _p (MPa)	K _e	S _σ (MPa)	N _i	N _{r i}	N _i /N _{r i}		
	559	—	280			0.0017		
	503	—	252			0.0153		
	231	—	116			0.0010		
	211	—	106			0.0001		
	184	—	92			0.0005		
評価：疲労累積係数 $I_t = \sum \frac{N_i}{N_{r i}} = 0.0186 \leq 1$ よって十分である。								
弁箱の形状規定 設計・建設規格				弁体の一次応力評価 設計・建設規格				
r ₁	(mm)			材料	S25C			
r ₂	(mm)			形式	G1			
0.3・t	(mm)			P (MPa)	10.40			
0.05・t	(mm)			P _c (P ₁ , P ₂) (N)				
0.1・h	(mm)			h (mm)				
d _n /d _m				a (mm)				
評価：r ₁ ≥ 0.3・t r ₂ ≥ Max (0.05・t, 0.1・h) $\frac{d_n}{d_m} < 2$ よって十分である。				b (mm)				
				σ _D (MPa)			53	
				1.5・S _m (MPa)			190	
				評価：σ _D ≤ 1.5・S _m よって十分である。				

O 2 ③ VI-3-3-3-1-4 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)	10.40		d_n (mm)	
最高使用温度 T_m (°C)	302		d_n / d_m	
弁箱又は弁ふたの厚さ			t_m (mm)	25.8
弁箱材料	SCPH2		t_{ma} (mm)	
弁ふた材料	SCPH2		評価： $t_{ma} \geq t_m$ よって十分である。	
P_1 (MPa)	9.95	—		
P_2 (MPa)	14.95	—		
d_m (mm)				
t_1 (mm)	20.5	—		
t_2 (mm)	30.2	—		
t (mm)	21.4	—		
t_{ab} (mm)				
t_{af} (mm)				
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。				

O2 ③ VI-3-3-3-1-4 R0

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
P_{FD} (MPa)	19.23	H_D (N)	1.489×10^6
P_{eq} (MPa)	8.83	h_D (mm)	94.0
T_m (°C)	302	M_D (N・mm)	1.400×10^8
M_e (N・mm)		H_G (N)	9.616×10^5
F_e (N)		h_G (mm)	119.6
フランジの形式	JIS B 8265 附属書3 図27)	M_G (N・mm)	1.150×10^8
フランジ		H_T (N)	3.704×10^5
材料	SCPH2	h_T (mm)	128.8
σ_{fa} (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	160	M_T (N・mm)	4.769×10^7
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	125	M_o (N・mm)	3.026×10^8
A (mm)		M_g (N・mm)	5.656×10^8
B (mm)		フランジの厚さと係数	
C (mm)		t (mm)	
g_o (mm)		K	2.16
g_1 (mm)		h_o (mm)	
h (mm)		f	1.00
ボルト		F	0.744
材料		V	0.154
σ_a (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	242	e (mm ⁻¹)	0.00637
σ_b (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	197	d (mm ³)	4225825
n		L	1.54
d_b (mm)		T	1.45
ガスケット		U	2.94
材料		Y	2.68
ガスケット厚さ (mm)		Z	1.55
G (mm)		応力の計算	
m		σ_{Ho} (MPa)	93
y (N/mm ²)		σ_{Ro} (MPa)	95
b_o (mm)		σ_{To} (MPa)	53
b (mm)		σ_{Hg} (MPa)	133
N (mm)		σ_{Rg} (MPa)	177
G_s (mm)		σ_{Tg} (MPa)	98
ボルトの計算		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ よって十分である。	
H (N)	1.860×10^6		
H_p (N)	9.616×10^5		
W_{m1} (N)	2.821×10^6		
W_{m2} (N)	5.742×10^5		
A_{m1} (mm ²)	1.427×10^4		
A_{m2} (mm ²)	2.373×10^3		
A_m (mm ²)	1.427×10^4		
A_b (mm ²)			
W_o (N)	2.821×10^6		
W_g (N)	4.731×10^6		
評価： $A_m < A_b$	よって十分である。		

O2 ③ VI-3-3-3-1-4 RO

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件		ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)	8.62	d _n (mm)	
最高使用温度 T _m (°C)	302	d _n / d _m	
弁箱又は弁ふたの厚さ		t _m (mm)	12.7
弁箱材料	SCPH2	t _{ma} (mm)	
弁ふた材料	SCPH2	評価： t _{ma} ≥ t _m よって十分である。	
P ₁ (MPa)	6.64		
P ₂ (MPa)	9.95		
d _m (mm)			
t ₁ (mm)	9.4		
t ₂ (mm)	9.5		
t (mm)	9.5		
t _{ab} (mm)			
t _{af} (mm)			
評価： t _{ab} ≥ t t _{af} ≥ t よって十分である。			

O2 ③ VI-3-3-3-1-4 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2. クラス 2 弁

2.1 設計仕様

系統：残留熱除去系

機器の区分		クラス2弁			
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料		
			弁箱	弁ふた	ボルト
E11-F008A, B	止め弁	350	SCPH2	SCPH2	

O2 ③ VI-3-3-3-1-4 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 強度計算書

系統：残留熱除去系

弁番号	E11-F008A, B	シート	1
-----	--------------	-----	---

設計条件		ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)	3.73	d_n (mm)	
最高使用温度 T_m (°C)	186	d_n / d_m	
弁箱又は弁ふたの厚さ		ℓ (mm)	
弁箱材料	SCPH2	t_{m1} (mm)	13.8
弁ふた材料	SCPH2	t_{m2} (mm)	11.3
P_1 (MPa)	2.00	t_{ma1} (mm)	
P_2 (MPa)	5.17	t_{ma2} (mm)	
d_m (mm)		評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。	
t_1 (mm)	10.6		
t_2 (mm)	16.3		
t (mm)	13.8		
t_{ab} (mm)			
t_{af} (mm)			
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。			

O2 ③ VI-3-3-3-1-4 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

O 2 ③ VI-3-3-3-1-4 ROE

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
P_{FD} (MPa)	6.77	H_D (N)	9.192×10^5
P_{eq} (MPa)	3.04	h_D (mm)	48.5
T_m (°C)	186	M_D (N・mm)	4.458×10^7
M_e (N・mm)		H_G (N)	3.390×10^5
F_e (N)		h_G (mm)	36.4
フランジの形式	JIS B 8265 附属書3 図27)	M_G (N・mm)	1.233×10^7
フランジ		H_T (N)	2.908×10^5
材料	SCPH2	h_T (mm)	51.7
σ_{fa} (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	120	M_T (N・mm)	1.503×10^7
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	120	M_o (N・mm)	7.193×10^7
		M_g (N・mm)	6.286×10^7
		フランジの厚さと係数	
A (mm)		t (mm)	
B (mm)		K	1.45
C (mm)		h_o (mm)	
g_o (mm)		f	1.00
g_1 (mm)		F	0.838
h (mm)		V	0.302
ボルト		e (mm ⁻¹)	0.00822
材料		d (mm ³)	1247165
σ_s (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	173	L	0.85
σ_b (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	173	T	1.73
n		U	5.91
d_b (mm)		Y	5.38
		Z	2.80
ガスケット		応力の計算	
材料		σ_{Ho} (MPa)	156
ガスケット厚さ (mm)		σ_{Ro} (MPa)	155
G (mm)		σ_{To} (MPa)	46
m		σ_{Hg} (MPa)	122
y (N/mm ²)		σ_{Rg} (MPa)	136
b_o (mm)		σ_{Tg} (MPa)	41
b (mm)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ よって十分である。	
N (mm)			
G_s (mm)			
ボルトの計算			
H (N)	1.210×10^6		
H_p (N)	3.390×10^5		
W_{m1} (N)	1.549×10^6		
W_{m2} (N)	3.070×10^5		
A_{m1} (mm ²)	8.953×10^3		
A_{m2} (mm ²)	1.775×10^3		
A_m (mm ²)	8.953×10^3		
A_b (mm ²)			
W_o (N)	1.549×10^6		
W_g (N)	1.729×10^6		
評価： $A_m < A_b$		よって十分である。	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。