

# 新型転換炉ふけん発電所

設計及び工事の方法の認可申請書

(原子炉本体の変更)

本 文  
添付資料

本資料は2001年11月13日付けで

登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

昭和 58年 7月

動力炉・核燃料開発事業団



58 動燃（新型）15

昭和58年7月12日

科学技術庁長官

安田 隆 明 殿

動力炉・核燃料開発事業団

理事長 瀬川 正 男

新型転換炉ふげん発電所原子炉施設（新型転換炉原型炉）  
の設計及び工事の方法の認可申請について

（原子炉本体の変更）

昭和58年5月20日付け58安（原規）第46号をもって、設置変更許可を受けた新型転換炉ふげん発電所原子炉施設（原子炉本体）について、設計及び工事の方法の認可を受けたいので、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第27条第1項の規定に基づき下記のとおり申請します。

## 記

### 1. 名称及び住所並びに代表者の氏名

名	称	動力炉・核燃料開発事業団
住	所	東京都港区赤坂1丁目9番13号
代表者の氏名		理事長 瀬川 正 男

### 2. 変更に係る工場又は事業所の名称及び所在地

名	称	動力炉・核燃料開発事業団 新型転換炉ふげん発電所
所	在 地	福井県敦賀市明神町3番地

### 3. 変更に係る区分並びに設計及び工事の方法

区	分	原子炉本体
設計及び工事の方法		別紙のとおり

### 4. 変更の理由

#### (1) 原子炉本体

##### イ 圧力管集合体

原子炉内の燃料取り出し、再装荷を行う際、作業時間短縮のため前回の点検までに取り外し、整備したものと取り替える。

別 紙

原 子 炉 本 体

# 目 次

I	原子炉本体	1
1.	原子炉本体の目的	1
2.	原子炉本体の概要	1
3.	原子炉本体の今回の申請範囲	1
II	圧力管集合体	2
1.	圧力管集合体の概要	2
(1)	圧力管集合体の目的	2
(2)	圧力管集合体の構成	2
(3)	圧力管集合体の今回の申請範囲	2
2.	シールプラグの設計	4
(1)	準拠すべき法令，規格及び基準	4
(2)	設 計	4
イ	設計条件	4
ロ	主 要 目	5
ハ	使用材料及び使用材料の物性値	6
ニ	設計計算結果	7
3.	シールプラグの工事方法	9
(1)	準拠すべき法令，規格及び基準	9
(2)	取替工事の概要	9
イ	工事上の注意事項	9
ロ	取替工事の方法	9
4.	シールプラグの試験検査	10
(1)	準拠すべき法令，規格及び基準	10
(2)	試験検査の概要	10
(3)	シールプラグの試験検査	11
イ	材料検査	11
ロ	寸法検査	11

ハ	外観検査	.....	11
ニ	耐圧検査	.....	11
ホ	漏洩検査	.....	11
ヘ	据付検査	.....	11
ト	機能検査	.....	11
Ⅲ	設計及び工事に係る品質保証計画	.....	12

添付書類

# I 原子炉本体

## 1. 原子炉本体の目的

原子炉本体は内蔵する燃料体の核分裂連鎖反応により発生する熱を効率よく安全に取り出すためのもので、そのための炉心の形成、減速材の収容、炉心からの放射線のしゃへい及び冷却材の循環流路の構成を目的とする設備である。

## 2. 原子炉本体の概要

原子炉本体は次の設備により構成される。

- (1) 燃料体
- (2) カランドリア
- (3) 鉄水遮蔽体
- (4) 圧力管集合体
- (5) 圧力管出入口管

原子炉本体はカランドリア（カランドリアタンク、カランドリア管及び制御棒等の案内管より構成される）及びその内部に配置した燃料集合体を含む圧力管集合体、鉄水遮蔽体並びに附属配管などにより構成される。原子炉全体図を添付図表図-1に示す。

炉心部は224本の燃料集合体、燃料集合体を内蔵する224本の圧力管、圧力管を収容する224本のカランドリア管、及び制御棒等の案内管を、これらを取り囲む炉心タンク内に豎形円柱状に配列した構造である。炉心タンク内の空隙部分には減速材並びに反射材としての重水が充たされている。圧力管集合体は圧力管及びシールプラグ等からなり、各カランドリア管に収容される。圧力管とカランドリア管との間の環状空間部は、圧力管と重水との間の熱絶縁のための炭酸ガスの流路となっている。

## 3. 原子炉本体の今回の申請範囲

今回の申請範囲は「2.原子炉本体の概要」に示す(4)圧力管集合体である。

## Ⅱ 圧力管集合体

### 1. 圧力管集合体の概要

#### (1) 圧力管集合体の目的

圧力管集合体は内部に燃料体を内蔵し、原子炉一次冷却材の流路となっている内径118 mm、長さ約10 mの管状の容器であり、内蔵する燃料体からの熱を安全に除去すると共に、いかなる運転状態及び事故状態に於いても燃料体の健全性を妨げることなく、保持出来ることを目的に設備されたものである。

#### (2) 圧力管集合体の構成

圧力管集合体は次の設備により構成される。

イ 圧力管及び圧力管上下部延長管

ロ シールプラグ

ハ 上部及び下部シャヘイプラグ

圧力管集合体は、一次冷却系の流路を形成する圧力管及び圧力管上下部延長管、シールプラグ、上部及び下部シャヘイプラグ等から構成される。

#### (3) 圧力管集合体の今回の申請範囲

今回の申請範囲は、「(2)圧力管集合体の構成」に示すロ、シールプラグである。

シールプラグは冷却材の流路を形成する圧力管集合体に組込まれ原子炉冷却材圧力バウンダリーを構成する。シールプラグ及びシャヘイプラグの構成を図Ⅱ-1に、またシールプラグの構造を添付図表図-Ⅲ-1に示す。

シールプラグは圧力管下部延長部の下端に装着され、原子炉冷却材圧力バウンダリーとして高温高圧の一次冷却水を密封するためシール性能は十分な性能を持つものである。また燃料交換機により容易に脱着できる構造となっている。

今回の工事は、計画停止時の燃料交換に伴い、取り外したシールプラグの分解点検<sup>(注)</sup>時の作業時間の短縮をはかるため、同一仕様のシールプラグ40体と取り替える。

(注) 前回までの点検で、燃料交換に伴い取り外し、整備したものを使用する。



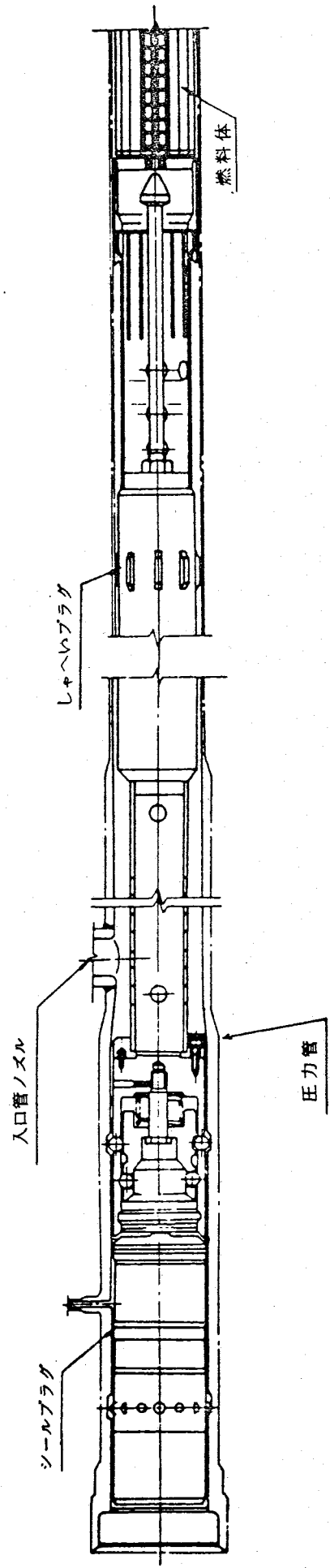


図 1-1 シールプラグ及びシャベリプラグ

## 2. シールプラグの設計

### (1) 準拠すべき法令，規格及び基準

- イ 昭和32年6月10日 法律第166号  
「核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」
- ロ 昭和32年11月21日 政令第324号  
「核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」
- ハ 昭和32年12月9日 総理府令第83号  
「試験研究の用に供する原子炉等の設置運転等に関する規則」
- ニ 昭和40年6月15日 通商産業省令第62号  
「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」
- ホ 昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号  
「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」
- ヘ 昭和25年法律201号  
「建築基準法」
- ト 日本工業規格(JIS)

### (2) 設 計

#### イ 設 計 条 件

- (1) 圧 力 条 件             $8.2 \text{ kg/cm}^2$
- (2) 温 度 条 件             $296^\circ\text{C}$
- (3) 耐 震 設 計 条 件

##### a 耐震Asクラス

##### b 設計地震力

##### (a) 動的震度

シールプラグの耐震設計は，原子炉建屋基盤における最大加速度 $0.25g$ の地震波による原子炉建屋の動的解析の結果得られた，上記機器の据付位置における床応答加速度スペクトラムによって行う。

##### (b) 静的震度

$$1.2 \times (\text{据付位置の設計震度}) = 0.835g$$

(c) 設 計 震 度

設計に当っては、所定の動的震度と静的震度のいずれか厳しい値に基づいて設計する。

なお垂直方向の地震力は下記震度より求め、水平方向の地震力と同時に不利な方向に作用するものとする。

$$\text{垂直震度} = \frac{1}{2} \times 3.6 \times 0.8 \times 0.2 = 0.288g$$

(d) 機能保持検討用地震力

動的解析においては上記(a)項で示した地震力の1.5倍とし、静的解析の場合は上記(b)項の値を水平震度とする。

なお垂直震度は0.288gとする。

(e) 取 替 数 量

40体 (再使用品)

□ 主 要 目

今回の工事では同一品を再使用する。

種 類	円筒整形
最高使用圧力	82 kg/cm <sup>2</sup>
最高使用温度	296℃
主 要 寸 法	
全 長	370 mm
本体外径	129 mm
主 要 材 料	SUS630

ハ. 使用材料及び使用材料物性質

シールプラグに使用する主要材料の物性値を下表に示す。

名 称	使用材料	温度条件 (℃)	$S_m$ ( $kg/mm^2$ )	$S_u$ ( $kg/mm^2$ )	$S_y$ ( $kg/mm^2$ )	$E$ ( $\times 10^4$ $kg/mm^2$ )	$\alpha$ ( $\times 10^{-6}$ $mm/mm^\circ C$ )
シールプラグ	SUS630 (H1075)	38	34.0	102.0	88.0	2.04	9.63
		279	32.1	88.6	72.1	1.88	12.16
		290	32.0	88.1	71.8	1.86	12.26
		296	32.0	87.8	71.6	1.85	12.31
備 考	$S_m$ : 設計応力強さ $S_u$ : 設計引張強さ $S_y$ : 設計降伏点 $E$ : 縦弾性係数 $\alpha$ : 瞬時熱膨張係数						

二. 設計計算結果

シールプラグの耐圧部強度計算結果を以下に示す。

計算結果の通り各部材のうける発生応力は許容値にくらべ小さく、十分な強度を有している。

詳細については添付書類-I「シールプラグの強度計算書」に示す。

(1) 一次応力の評価(設計状態)

(単位:  $kg/mm^2$ )

応力分類 [注1]	$P_m$	$P_L$	$P_L + P_b$	
最大応力の発生する要素番号 [注2]	⑳	㉑	㉒	
			上面	下面
応力強さ	24.2	29.7	27.7	20.6
許容応力	$S_m$ 32.0	$1.5S_m$ 48.0	$1.5S_m$ 48.0	

(2) 一次応力の評価(運転状態Ⅲ, N)

(単位:  $kg/mm^2$ )

応力分類 [注1]	$P_m$	$P_L$	$P_L + P_b$	
最大応力の発生する要素番号 [注2]	⑳	㉑	㉒	
			上面	下面
応力強さ	25.6	31.4	29.3	21.8
許容応力	$2/3S_u$ 58.5	$1.5 \times 2/3S_u$ 87.8	$1.5 \times 2/3S_u$ 87.8	

(3) 一次応力の評価(試験状態)

(単位:  $kg/mm^2$ )

応力分類 [注1]	$P_m$	$P_L$	$P_L + P_b$	
最大応力の発生する要素番号 [注2]	⑳	㉑	㉒	
			上面	下面
応力強さ	30.3	37.1	34.6	25.6
許容応力	$0.9S_y$ 79.2	$1.5 \times 0.9S_y$ 118.8	$1.5 \times 0.9S_y$ 118.8	

(=) 一次応力+二次応力の評価(運転状態Ⅰ, Ⅱ)

(単位:  $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

応力分類 [注1]	PL + Pb + Q	
最大応力の発生する	㉓	
要素番号 [注2]	上 面	下 面
応 力 強 さ	4 1.1	1 1.1
許 容 応 力	3 Sm	9 6.0

[注1] P<sub>m</sub> : 一次一般膜応力

P<sub>L</sub> : 一次局部膜応力

P<sub>b</sub> : 一次曲げ応力

Q : 二次曲げ応力

[注2] 最大応力の発生する要素番号については添付書類—Ⅰ

「シールプラグの強度計算書」に示す。

### 3. シールプラグの工事方法

#### (1) 準拠すべき法令、規格及び基準

- イ 昭和32年6月10日 法律第166号  
「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」
- ロ 昭和32年11月21日 政令第324号  
「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」
- ハ 昭和32年12月9日 総理府令第83号  
「試験研究の用に供する原子炉等の設置運転等に関する規則」
- ニ 昭和40年6月15日 通商産業省令第62号  
「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」
- ホ 昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号  
「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」
- ヘ 日本工業規格（JIS）

#### (2) 取替工事の概要

##### イ 工事上の注意事項

（取替工事が他の部分に与える影響を低減するための方法）

シールプラグは原子炉を冷却する一次冷却水を密封するものであるから、この脱着作業並びに交換機器の取扱いには被曝を避けるための対策が必要である。

この工程では機器に直接手を触れることはなく、すべて遠隔操作により実施する。また水中で取扱うので汚染物が空气中に飛散して作業環境を損なうことは防止される。

##### ロ 取替工事の方法

新シールプラグは燃料受渡しプールの新燃料受取装置で受取り、以下遠隔操作により、トランスファシュート、燃料交換プール、トランスファポートを経由して燃料交換機内に收容する。新シールプラグを收容した燃料交換機を圧力管に接続して、管内に装着されている交換シールプラグを取外し、使用済燃料を取出した後、新シールプラグを装着して一次冷却水を密封する。

なお、取外したシールプラグは、上記と逆の経路で燃料受渡しプールへ移送し、燃料移送機で使用済燃料貯蔵プールのラックに収納する。その後洗浄装置で洗浄して分解点検手入れを実施する。

シールプラグ取替工事フローを添付図表図-Ⅲ-3に示す。

#### 4. シールプラグの試験検査

原子炉施設の工事に当っては、原子炉の安全性及び信頼性の確立の観点から、高度の品質保証を行う必要がある。

本設備の工事に当って、設置者は品質保証として、当該機器装置が適用される法令、規格及び基準、並びに設計条件を満足していることを据付及び試運転の各工程に於て確認するために下記の試験検査を実施する。

##### (1) 準拠すべき法令、規格及び基準

- イ 昭和32年6月10日 法律第166号  
「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」
- ロ 昭和32年11月21日 政令第324号  
「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」
- ハ 昭和32年12月9日 総理府令第83号  
「試験研究の用に供する原子炉等の設置運転等に関する規則」
- ニ 昭和40年6月15日 通商産業省令第62号  
「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」
- ホ 昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号  
「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」
- ヘ 日本工業規格（JIS）

##### (2) 試験検査の概要

シールプラグの取替工事工程に従い、次の試験検査を実施する。

- イ 材 料 検 査
- ロ 寸 法 検 査
- ハ 外 観 検 査
- ニ 耐 圧 検 査
- ホ 漏 洩 検 査
- ヘ 据 付 検 査
- ト 機 能 検 査



### (3) シールプラグの試験検査

#### イ 材料検査

シールプラグのうち取り替える部品に使用する材料について、材料メーカーから、材料購入時に添付される材料検査成績表により、当該規格を満足していることを確認する。

#### ロ 寸法検査

主要部の寸法検査を行い、各部寸法が所定の許容差内にあることを確認する。

許容誤差は添付図表「表-1 寸法許容誤差表」に示す。

#### ハ 外観検査

各部品の外観を目視又は記録により検査し、異常な欠陥の無いことを確認する。

#### ニ 耐圧検査(単体)

耐圧部は、通産省告示第501号第104条により耐圧検査を行い、これに耐え、かつ著しい漏洩が無いものとする。

耐圧検査圧力は、再使用品は  $7.9.2 \text{ kg/cm}^2$ 、ドーム取替品は  $10.2.5 \text{ kg/cm}^2$  の水圧とする。

#### ホ 漏洩検査(単体)

耐圧部に運転圧力を加えた状態でシールプラグからの漏洩量が  $120 \text{ cc/hr}$  以下であることを確認する。

漏洩検査圧力は、 $7.2 \text{ kg/cm}^2$  の水圧とする。

#### ヘ 据付検査

シールプラグを圧力管に据付後、据付状態の健全性を確認するため、通常運転圧力の1.1倍の圧力を加えた状態でシールプラグからの漏洩量を測定し、著しい漏洩の無いことを確認する。

据付検査圧力は  $7.4.8 \text{ kg/cm}^2$  の水圧とする。

#### ト 機能検査

据付け後通常運転状態でシールプラグから漏洩量が  $290 \text{ cc/hr/本}$  以下であることを確認する。

### Ⅲ 設計及び工事に係る品質保証計画

動力炉・核燃料開発事業団の品質保証活動は、次の規程及び計画書に基づき実施する。

1. 原子炉施設品質保証管理規程
2. 原子炉施設に係る品質保証基本計画書
3. 新型転換炉ふげん発電所施設品質保証計画書

なお、これらの内容については、次により届出を行っている。

1.及び2.……………昭和55年12月5日付け

55動燃(計画)015

動燃事業団理事長より原子力安全局長あて

昭和58年4月26日付け

58動燃(技管)003

一部改正

動燃事業団理事長より原子力安全局長あて

3.……………昭和57年1月29日付け

56動燃(計)018

動燃事業団計画管理部長より

原子力安全局原子炉規制課長あて

昭和58年4月26日付け

58動燃(技管)004

一部改正

動燃事業団安全管理部長より原子力安全局長あて

添 付 書 類

添 付 書 類 I

シールプラグの強度計算書

# 目 次

I-1. シールプラグの応力計算書 .....	I-1
1. 一 般 事 項 .....	I-1
2. 設 計 条 件 .....	I-3
1) 品質管理区分 .....	I-3
2) 最高使用温度 .....	I-3
3) 最高使用圧力 .....	I-3
4) 運 転 温 度 .....	I-3
5) 運 転 圧 力 .....	I-3
6) 最低使用温度 .....	I-3
7) 耐 用 年 数 .....	I-3
8) 圧力管シールプラグ装着部材質 .....	I-3
9) 使用材料および物性値 .....	I-4
10) 第1種容器の許容応力 .....	I-5
11) 運 転 条 件 .....	I-6
3. 応 力 解 析 .....	I-8
1) 応力解析に使用する記号 .....	I-8
2) 応力解析プログラム .....	I-8
3) 応力解析結果のまとめ .....	I-10
4. 結 論 .....	I-17
5. 参 考 文 献 .....	I-17
I-2. ドームの応力計算 .....	I-18
1. 緒 言 .....	I-18
2. 形状, 主要寸法および荷重条件 .....	I-18
3. 応 力 解 析 .....	I-21
1) 解 析 方 法 .....	I-21
2) 応力計算結果 .....	I-21
4. 応 力 分 類 .....	I-25

5. 応力評価	I-30
1) 設計状態における1次応力強さ	I-30
2) 運転状態Ⅲ,Ⅳにおける1次応力強さ	I-31
3) 試験状態における1次応力強さ	I-32
4) 運転状態Ⅰ,およびⅡにおける1次+2次応力強さ	I-33
5) 疲れ解析	I-34
6) 純せん断荷重	I-35
7) 運転状態Ⅰ,Ⅱ,Ⅲおよび試験状態における支圧応力	I-36
6. 結論	I-37
I-3. 非耐圧部の応力計算書	I-37
1. 緒言	I-37
2. 形状および主要寸法	I-37
3. 非耐圧部の荷重状態	I-37
4. 応力解析	I-40
1) 本体(1)の応力解析とその評価	I-40
2) 本体(2)の応力解析とその評価	I-43
3) ラッチの応力解析とその評価	I-50
5. 結論	I-54

## I-1 シールプラグの応力計算書

### 1. 一般事項

シールプラグは、原子炉圧力管下部延長管に装着され、原子炉一次冷却水をシールするものであり、品質管理区分は、第1種容器に区分される。

シールプラグは、圧力管下部延長管下端部のシールを行なうシール部と、本体を圧力管内に固定するラッチ部の二つの部分から構成される。

シール部は、一次シールと二次シールから構成され、一次シール部は、圧力バウンダリーとなるドームにより、シールエレメントがスプリング力（初期時）および一次冷却系圧力（運転時）で圧力管内側に押し上げられシールを行なう方式であり、二次シールは、Uパッキンにより行なう。

ラッチ部は、ボールをラッチにより本体外周へ押し出し、圧力管溝にはめ込んで本体を圧力管に固定する構造である。

シールプラグの構造、寸法および使用材質を図 I-1 に示す。

部番	名	称	材	質	備	考
1	シールエレメント		7E-6A2-4V		オキシル材	
2	ドーム		SUS 630		耐圧部	
3	本体 (1)		SUS 630		非耐圧部	
4	本体 (2)		SUS 630		"	
5	本体 (3)		SUS 630		"	
6	ラッパ		SUS 630		非耐圧部	
7	ガイドヘッド		SUS 630			
8	ロッド (1)		SUS 630			
9	ロッド (2)		SUS 630			
10	ボール 3/4"		SUS 440C		非耐圧部	
11	ドームスプリング (1)(2)		インネルX		耐圧部	
12	Uパッキン		EPDM		高さ 650 kg	
					オキシル材	

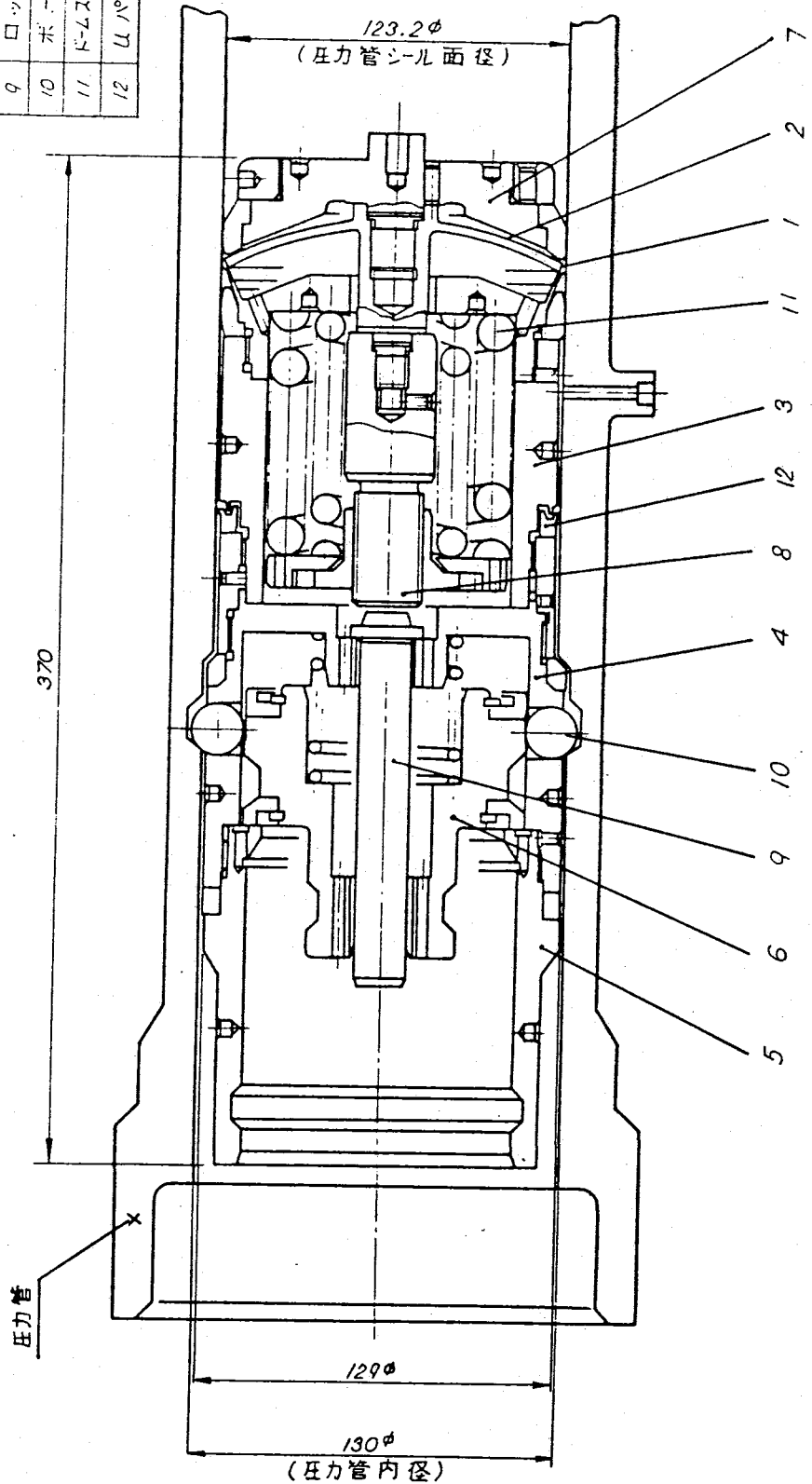


図1-1 シールプラグの構造寸法および使用材質



## 2. 設 計 条 件

### 1) 品質管理区分：第1種容器

シールプラグの品質管理区分は、1.一般事項で述べたように特殊形状であり、要求される機能の特殊性から、すでにある諸規格、基準のコンポーネントの一つとして決定することは困難であるが、その使用用途が一次系圧力バウンダリーを形成することから、原子力用機器として最重要部分と考えられ、十分な品質管理を行う必要がある。

以上のような基本的な考え方をもとに「通商産業省告示第501号発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」(以下告示第501号という。)の適用を基礎として品質管理区分を行なう。

応力解析上、耐圧区分を次のように定める。

耐 圧 部	:	ドーム
非 耐 圧 部	:	本体(1), (2), ラッチ, ボール
2) 最高使用温度	:	296℃
3) 最高使用圧力	:	8.2 kg/cm <sup>2</sup>
4) 運 転 温 度	:	277℃
5) 運 転 圧 力	:	7.2 kg/cm <sup>2</sup>
6) 最低使用温度	:	38℃
7) 耐 用 年 数	:	30年
8) 圧力管シールプラグ装着部材質	:	SUS50Mod

9) 使用材料および物性値

名 称	使用材料	温度条件 (℃)	S <sub>m</sub> (kg/mm <sup>2</sup> )	S <sub>u</sub> (kg/mm <sup>2</sup> )	S <sub>y</sub> (kg/mm <sup>2</sup> )	E (×10 <sup>4</sup> kg/mm <sup>2</sup> )	α (×10 <sup>-6</sup> /mm/℃)
シールプラグ	SUS630 (H1075)	38	34.0	102.0	88.0	2.04	9.63
		279	32.1	88.6	72.1	1.88	12.16
		290	32.0	88.1	71.8	1.86	12.26
		296	32.0	87.8	71.6	1.85	12.31
備 考	S <sub>m</sub> : 設計応力強さ S <sub>u</sub> : 設計引張強さ S <sub>y</sub> : 設計降伏点 E : 縦弾性係数 α : 瞬時熱膨張係数						

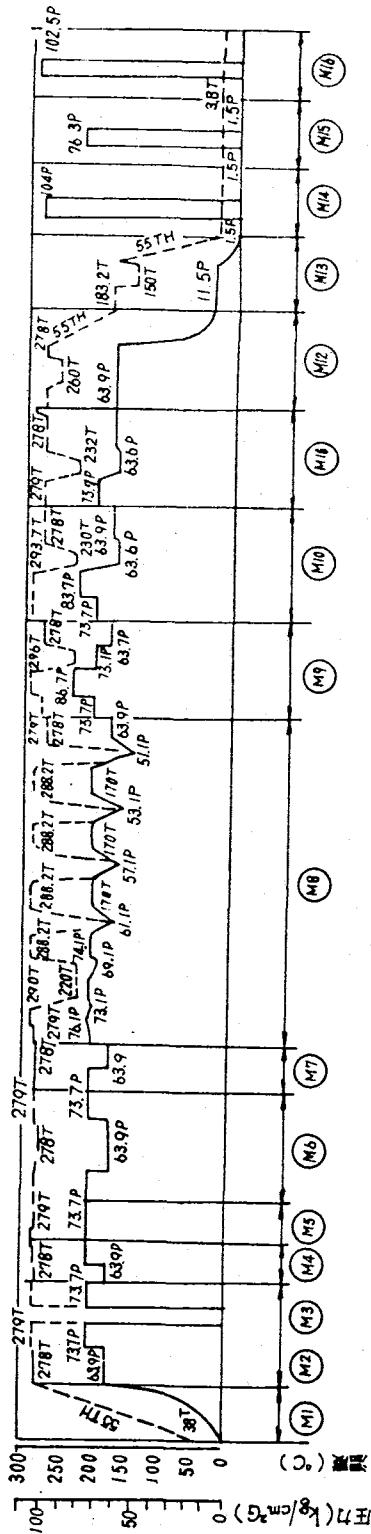
10) 第1種容器の許容応力

(非耐圧部についても下記許容応力に準じるものとする)

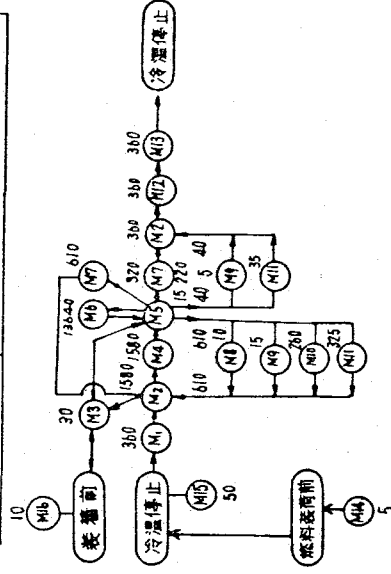
	1次一般膜応力 ( $P_m$ )	1次膜応力+ 1次曲げ応力 ( $P_L, P_L+P_b$ )	1次+2次応力 ( $P_L+P_b+Q$ )	1次+2次+ ピーク応力 ( $P_L+P_b+Q+F$ )
設計状態 (最高使用 圧力+機械 的荷重)	$S_m$	$1.5 S_m$	—	—
運転状態 I	—	—	$3 S_m$	告示501号第13 条第1項第1号トに より疲れ解析を行う。
運転状態 II				
運転状態 III	$S_y$ と $2/3 S_u$ のい ずれか小さい方。 但しオーステナイト 系ステンレス鋼およ び高ニッケル合金に あつては $1.2 S_m$ 。	左欄の1.5倍	—	—
運転状態 IV	$2/3 S_u$ 。但しオー ステナイト系ステン レス鋼および高ニッ ケル合金にあつては $2/3 S_u$ もしくは、 $2.4 S_m$ の小さい方。	左欄の1.5倍	—	—
試験状態	$0.9 S_y$	左欄の1.5倍	—	—
備 考	$P_m$ : 1次一般膜応力 $S_m$ : 設計応力強さ $P_L$ : 1次局部膜応力 $S_y$ : 設計降伏点 $P_b$ : 1次曲げ応力 $S_u$ : 設計引張強さ $Q$ : 2次応力 $F$ : ピーク応力			

## 11) 運 転 条 件

シールプラグの寿命期間中(30年)の運転状態および各状態の発生回数を図1-2に示す。



記号	名称	単位
P	圧力	(kg/cm² G)
T	温度	(°C)
TM, TH	温度変化	(°C/分) (°C/時間)



運転状態図 (数字は回数を示す)

モード	運転モード	運転状態	発生回数	備	考
M1	起動 (I)	I	360	圧力管A区域のモードM11と同じ	
M2	高温停止	"	1940	"	M2 "
M3	圧力管への着脱	"	30	"	
M4	起動 (II)	"	1580	圧力管A区域のモードM4と同じ	
M5	出力運動	"	15220	"	M5 "
M6	出力変化	"	13640	"	M6 "
M7	停止 (I)	I	930	"	M7 "
M8	所内電源喪失	II	10	"	M8 "
M9	スクララム (I)	III	20	"	M9 "
M10	スクララム (II)	III	200	"	M10 "
M11	スクララム (III)	II	360	"	M11 "
M12	停止 (II)	I	360	"	M12 "
M13	停止 (III)	I	360	"	M13 "
M14	圧力管耐圧試験	試験状態	5	"	M14 "
M15	圧力管漏洩試験	II	50	"	M15 "
M16	耐圧降圧試験	試験状態	10	圧力管への装着前に行なう	
		モード M9 以下の条件			

図 I-2 シーブルグラフ運転状態図

### 3. 応力解析

#### 1) 応力解析に使用する記号

「シールプラグの応力計算書」において使用する記号は、次のとおりである。

$P_m$  : 一次一般膜応力

$P_L$  : 一次局部膜応力

$P_b$  : 一次曲げ応力

$Q$  : 二次曲げ応力

$F$  : ピーク応力

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  : 主応力

$\sigma_{12}, \sigma_{23}, \sigma_{31}$  : 応力差

#### 2) 応力解析プログラム

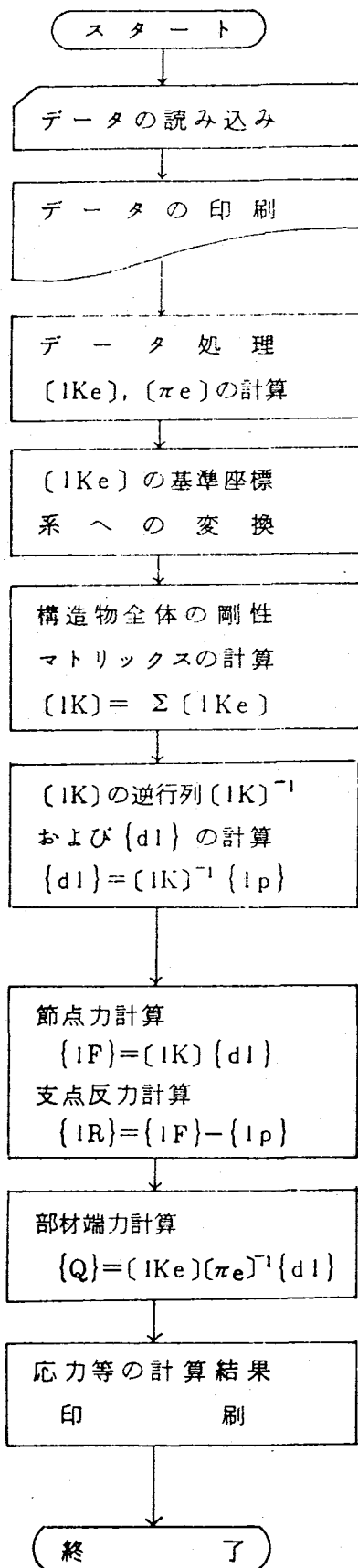
シールプラグのドームの応力解析は、有限要素法に基づく計算コード「SAFE-SHELL」により行なう。

計算コード「SAFE-SHELL」は、薄肉の軸対称構造物を弾性域で応力解析を行なう計算コードであり、取り扱い要素形状は、連続回転殻要素であり、また取り扱える荷重は軸対称の機械的荷重（内圧等）、熱負荷、強制変位である。

入力データとしては、構造物の形状寸法、材料定数に関するデータ、境界条件、荷重条件等であり、出力としては、構造物構成節点における節点変位、応力等である。

本計算コードの計算手順の概略をフローチャートで示す。

SAFE-SHELL



座標データ  
形状, 寸法に関するデータ  
拘束条件

$[1Ke]$  ; 要素の剛性マトリックス  
 $(\pi e)$  ; 座標変換マトリックス

$\{d1\}$  ; 変位ベクトル  
 $\{1p\}$  ; 荷重ベクトル

SAFE-SHELLのフローチャート

### 3) 応力解析結果のまとめ

シールプラグの各部の応力解析の詳細は、「I-2 ドームの応力計算書」と「I-3 非耐圧部の応力計算書」に示す通りであるが、本章では、それらについてまとめたものである。

表 I-1 および 2 にドームの、表 I-3, 4, 5 および 6 に非耐圧部の応力解析結果のまとめを示す。



表 I-1 D-4 の応力解析結果 (評価位置: 要素 ②)

単位: kg/mm<sup>2</sup>

項目	Pm			PL			PL + Pb						PL + Pb + Q						最大応力強さ			
	σ <sub>1</sub> σ <sub>2</sub> σ <sub>3</sub>			σ <sub>1</sub> σ <sub>2</sub> σ <sub>3</sub>			上 面		下 面		上 面		下 面		上 面		下 面		上 面	下 面		
	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	
設計状態 (最高使用 圧力 +機械的 荷重)	合計応力	-24.6	-16.8	-0.4	0	0	0	-28.5	-21.5	-0.8	-20.6	-12.1	0									
	応力強さ	24.2			0			27.7		20.6		2.06										
運転状態 I, II	許容応力強さ	32.0			48.0			48.0														
	合計応力	—			—			—		—		—										
運転状態 III, IV	合計応力	-26.0	-18.8	-0.4	0	0	0	-30.1	-22.7	-0.8	-21.8	-12.8	0									
	許容応力強さ	25.6			0			29.3		2.18												
試験状態	合計応力	-30.8	-21.0	-0.5	0	0	0	-35.6	-26.9	-1.0	-25.6	-15.1	0									
	許容応力強さ	30.3			0			34.6		2.56												
	合計応力	79.2			1188			1188														

注記

- 各運転状態における圧力温度条件は、最もきびしい条件とし、次の通りとした。
- 最大応力強さは、各応力強さの全振幅のうち最大値とし、冷温停止状態と運転状態 I, II との差のうち最大変動中とした。

運転状態	モード	圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	温度 [°C]	備 考
I, II	M8	76.1	290	M8 モードにて運転状態 I, II を代表
III, IV	M9	86.7	296	M9 モードにて運転状態 III, IV を代表
試験状態	M16	102.5	38	

記号の説明

σ<sub>1</sub>, σ<sub>2</sub>, σ<sub>3</sub> : 主応力

σ<sub>12</sub> : σ<sub>1</sub> - σ<sub>2</sub>

σ<sub>23</sub> : σ<sub>2</sub> - σ<sub>3</sub>

σ<sub>31</sub> : σ<sub>3</sub> - σ<sub>1</sub>

「応力強さ」: |σ<sub>1</sub> - σ<sub>2</sub>|, |σ<sub>2</sub> - σ<sub>3</sub>|, |σ<sub>3</sub> - σ<sub>1</sub>| のうちの最大値

表 I - 2 D-4 の応力解析結果 (評価位置: 要素 02)

単位: kg/cm<sup>2</sup>

項目	P <sub>m</sub>			PL						PL + P <sub>b</sub>						PL + P <sub>b</sub> + Q						最大応力強さ													
	σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		上面	下面									
	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>									
設計状態 (最高使用 圧力 + 機械的 荷重)	合計応力			0			-30.1 -14.1 -0.4			-30.1 -14.1 -0.4			-30.1 -14.1 -0.4			-30.1 -14.1 -0.4			-30.1 -14.1 -0.4			-30.1 -14.1 -0.4			-30.1 -14.1 -0.4			—							
	応力強さ			0			29.7			29.7			29.7			29.7			29.7			29.7			29.7			—							
運転状態 I, II	許容応力強			32.0			48.0			48.0			48.0			48.0			48.0			48.0			48.0			48.0			—				
	合計応力			—			—			—			—			—			—			—			—			—			—				
運転状態 III, IV	許容応力強			—			—			—			—			—			—			—			—			—			—			—	
	合計応力			0			-31.8 -15.0 -0.4			-31.8 -15.0 -0.4			-31.8 -15.0 -0.4			-31.8 -15.0 -0.4			-31.8 -15.0 -0.4			-31.8 -15.0 -0.4			-31.8 -15.0 -0.4			-31.8 -15.0 -0.4			—				
試験状態	許容応力強			0			31.4			31.4			31.4			31.4			31.4			31.4			31.4			31.4			31.4			—	
	合計応力			0			-37.6 -17.6 -0.5			-37.6 -17.6 -0.5			-37.6 -17.6 -0.5			-37.6 -17.6 -0.5			-37.6 -17.6 -0.5			-37.6 -17.6 -0.5			-37.6 -17.6 -0.5			-37.6 -17.6 -0.5			—				
備考	許容応力強			79.2			1188			1188			1188			1188			1188			1188			1188			1188			1188			—	
	記号の説明			σ <sub>1</sub> , σ <sub>2</sub> , σ <sub>3</sub> : 主応力			σ <sub>12</sub> : σ <sub>1</sub> - σ <sub>2</sub>			σ <sub>23</sub> : σ <sub>2</sub> - σ <sub>3</sub>			σ <sub>31</sub> : σ <sub>3</sub> - σ <sub>1</sub>			「応力強さ」:  σ <sub>1</sub> - σ <sub>2</sub>  ,  σ <sub>2</sub> - σ <sub>3</sub>  ,  σ <sub>3</sub> - σ <sub>1</sub>   のうちの最大値			—			—			—			—			—				

注記

- 各運転状態における圧力温度条件は、最もきびしい条件とし、次の通りとした。
- 最大応力強さは、各応力強さの全振幅のうち最大値とし、冷温停止状態と運転状態 I, II との差のうち最大変動巾とした。

運転状態	モード	圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	温度 (°C)	備考
I, II	M8	76.1	290	M8 モードにて運転状態 I, II を代表
III, IV	M9	86.7	296	M9 モードにて運転状態 III, IV を代表
試験状態	M16	102.5	38	

表 1-3 本体(1)薄肉部応力解析結果  
(非耐圧部)

単位: kg/cm<sup>2</sup>

項目	P <sub>m</sub>			PL						PL + P <sub>b</sub>						合計応力						PL + P <sub>b</sub> + Q						最大応力強さ													
	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>12</sub>	σ <sub>23</sub>	σ <sub>31</sub>	σ <sub>12</sub>	σ <sub>23</sub>	σ <sub>31</sub>	σ <sub>12</sub>	σ <sub>23</sub>	σ <sub>31</sub>	内面	外面									
設計状態 (最高使用 圧力機械的 荷重)	合計応力			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	応力強さ			6.5						6.5						6.5						6.5						—													
運転状態 I, II	合計応力			480						480						480						480						480						—							
	応力強さ			—						—						—						—						—						—							
運転状態 III, IV	合計応力			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	応力強さ			6.9						6.9						6.9						6.9						6.9						—							
試験状態	合計応力			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	応力強さ			8.1						8.1						8.1						8.1						8.1						—							
備考	合計応力			1188						1188						1188						1188						1188						1188						—	
	応力強さ			79.2						79.2						79.2						79.2						79.2						79.2						—	

記号の説明

σ<sub>1</sub>, σ<sub>2</sub>, σ<sub>3</sub> : 主応力

σ<sub>12</sub> : σ<sub>1</sub> - σ<sub>2</sub>

σ<sub>23</sub> : σ<sub>2</sub> - σ<sub>3</sub>

σ<sub>31</sub> : σ<sub>3</sub> - σ<sub>1</sub>

「応力強さ」: |σ<sub>1</sub> - σ<sub>2</sub>|, |σ<sub>2</sub> - σ<sub>3</sub>|, |σ<sub>3</sub> - σ<sub>1</sub>| の  
うちの最大値

注記

1. 各運転状態における圧力温度条件は、最もまび

しい条件とし、次の通りとした。

運転状態	モード	圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	温度 (℃)	備	考
I, II	M8	76.1	290	M8 モードにて運転 状態 I, II を代表	
III, IV	M9	86.7	296	M9 モードにて運転 状態 III, IV を代表	
試験状態	M16	102.5	38		

2. 最大応力強さは、各応力強さの全振  
幅のうち最大値とし、冷温停止状態と  
運転状態 I, II との差のうち最大変動  
巾とした。

表 1 - 4 本体(2)薄肉円筒胴部応力解析結果  
(非耐圧部)

単位: kg/cm<sup>2</sup>

項目	P <sub>m</sub>			PL						PL + P <sub>b</sub>						合計応力						PL + P <sub>b</sub> + Q						最大応力強さ							
	σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		内面	外面			
	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>31</sub>	σ <sub>31</sub>			
設計状態 (最高使用 圧力 + 機械的 荷重)	合計応力			- 7.2			0			0			- 7.2			0			0			0			0			0			0			—	
	応力強さ			7.2			0			7.2			0			7.2			0			0			0			0			—				
運転状態 I, II	許容応力強さ			320			480			480			480			480			480			480			480			480			480			—	
	合計応力			—			—			—			—			—			—			—			—			—			—			—	
運転状態 III, IV	合計応力			- 7.6			0			0			- 7.6			0			0			- 6.7			0			0			- 6.7			0	
	応力強さ			7.6			0			7.6			0			7.6			0			7.6			0			7.6			—				
試験状態	合計応力			- 9.0			0			0			- 9.0			0			0			- 9.0			0			0			- 9.0			0	
	許容応力強さ			9.0			0			9.0			0			9.0			0			9.0			0			9.0			—				
	合計応力			7.9.2			1188			1188			1188			1188			1188			1188			1188			1188			1188			960	

注記

- 各運転状態における圧力温度条件は、最もきびしい条件とし、次の通りとした。
- 最大応力強さは、各応力強さの全振幅のうち最大値とし、冷温停止状態と運転状態Ⅰ、Ⅱとの差のうち最大変動巾とした。

運転状態	モード	圧力 [kg/cm <sup>2</sup> ]	温度 [°C]	備考
I, II	M8	76.1	290	M8 モードにて運転状態Ⅰ, Ⅱを代表
III, IV	M9	86.7	296	M9 モードにて運転状態Ⅲ, Ⅳを代表
試験状態	M16	102.5	38	

記号の説明

- σ<sub>1</sub>, σ<sub>2</sub>, σ<sub>3</sub> : 主応力
- σ<sub>12</sub> : σ<sub>1</sub> - σ<sub>2</sub>
- σ<sub>23</sub> : σ<sub>2</sub> - σ<sub>3</sub>
- σ<sub>31</sub> : σ<sub>3</sub> - σ<sub>1</sub>

「応力強さ」: |σ<sub>1</sub> - σ<sub>2</sub>|, |σ<sub>2</sub> - σ<sub>3</sub>|, |σ<sub>3</sub> - σ<sub>1</sub>| のうちの最大値

表 I - 5 本体②薄肉筒内筒部上端応力解析結果  
(非耐圧部)

単位: kg/cm<sup>2</sup>

項目	P <sub>m</sub>			PL						PL + P <sub>b</sub>						合計応力						PL + P <sub>b</sub> + Q						最大応力強さ																																									
	σ <sub>1</sub> σ <sub>2</sub> σ <sub>3</sub>			σ <sub>1</sub> σ <sub>2</sub> σ <sub>3</sub>			σ <sub>1</sub> σ <sub>2</sub> σ <sub>3</sub>			σ <sub>1</sub> σ <sub>2</sub> σ <sub>3</sub>			σ <sub>1</sub> σ <sub>2</sub> σ <sub>3</sub>			σ <sub>1</sub> σ <sub>2</sub> σ <sub>3</sub>			σ <sub>1</sub> σ <sub>2</sub> σ <sub>3</sub>			σ <sub>1</sub> σ <sub>2</sub> σ <sub>3</sub>			σ <sub>1</sub> σ <sub>2</sub> σ <sub>3</sub>			内面		外面																																							
	0 0 0			1.5 9.2 -8.7			1.5 9.2 -8.7			1.5 9.2 -8.7			1.5 9.2 -8.7			1.5 9.2 -8.7			1.5 9.2 -8.7			1.5 9.2 -8.7			1.5 9.2 -8.7			1.5 9.2 -8.7			1.5 9.2 -8.7			—		—																																	
設計状態 (最高使用 圧力 + 機械的 荷重)	0			17.9						17.9						—						—						—						—		—																																	
運転状態 I, II	32.0			48.0						48.0						—						—						—						—						—		—																											
運転状態 III, IV	—			—						—						—						—						—						—						—		—																											
試験状態	79.2			118.8						118.8						—						—						—						—						—		—																											
合計応力	0 0 0			1.6 9.4 -9.2						1.6 9.4 -9.2						1.6 9.4 -9.2						1.6 9.4 -9.2						1.6 9.4 -9.2						1.6 9.4 -9.2						1.6 9.4 -9.2						4.4		44.7		-49.1		14.6		21.3		-35.9		49.1		35.9									
応力強さ	0			18.6						18.6						—						—						—						—						—						—		—		—		—		—		—													
許容応力強さ	58.5			87.8						87.8						—						—						—						—						—						—						—		—		—		—		—		—							
合計応力	0 0 0			1.9 11.2 -10.9						1.9 11.2 -10.9						1.9 11.2 -10.9						1.9 11.2 -10.9						1.9 11.2 -10.9						1.9 11.2 -10.9						1.9 11.2 -10.9						1.9 11.2 -10.9						—		—		—		—		—		—							
応力強さ	0			22.1						22.1						—						—						—						—						—						—						—		—		—		—		—		—							
許容応力強さ	79.2			118.8						118.8						—						—						—						—						—						—						—						—		—		—		—		—		—	

注記

1. 各運転状態における圧力温度条件は、最もきびしい条件とし、次の通りとした。  
 2. 最大応力強さは、各応力強さの全振幅のうち最大値とし、冷温停止状態と運転状態 I, II との差のうち最大変動巾とした。

運転状態	モード No	圧力 [kg/cm <sup>2</sup> ]	温度 [°C]	備考
I, II	M8	7.61	290	M8 モードにて運転状態 I, II を代表
III, IV	M9	8.67	296	M9 モードにて運転状態 III, IV を代表
試験状態	M16	102.5	38	

「応力強さ」: |σ<sub>1</sub> - σ<sub>2</sub>|, |σ<sub>2</sub> - σ<sub>3</sub>|, |σ<sub>3</sub> - σ<sub>1</sub>| のうちの最大値

表1-6. ラッチ部の応力解析結果  
(非耐圧部)

単位: kg/cm<sup>2</sup>

項目	P <sub>m</sub>						PL						PL + P <sub>b</sub>						合計応力						PL + P <sub>b</sub> + Q						最大応力強さ													
	σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		σ <sub>12</sub>		σ <sub>23</sub>		σ <sub>31</sub>		内面	外面												
	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>														
設計状態 (最高使用 圧力 + 機械的 荷重)	合計応力						0						0						0						0						0													
	応力強さ						-1.85						-11.2						-7.5						-3.7						-													
運転状態 I, II	許容応力強さ						3.20						4.80						4.80						-						-													
	合計応力						-						-						-						-						-													
運転状態 III, IV	合計応力						0						0						0						0						0													
	許容応力強さ						9.89						11.84						7.93						-						-													
試験状態	合計応力						0						0						0						0						0						0							
	許容応力強さ						11.67						14.00						9.34						-						-						-							
備考	記号の説明						σ <sub>1</sub> , σ <sub>2</sub> , σ <sub>3</sub> : 主応力						σ <sub>12</sub> : σ <sub>1</sub> - σ <sub>2</sub>						σ <sub>23</sub> : σ <sub>2</sub> - σ <sub>3</sub>						σ <sub>31</sub> : σ <sub>3</sub> - σ <sub>1</sub>						「応力強さ」:  σ <sub>1</sub> - σ <sub>2</sub>  ,  σ <sub>2</sub> - σ <sub>3</sub>  ,  σ <sub>3</sub> - σ <sub>1</sub>   のうちの最大値													
	備考						1. 各運転状態における圧力温度条件は、最もきびしい条件とし、次の通りとした。						2. 最大応力強さは、各応力強さの全振幅のうち最大値とし、冷温停止状態と運転状態I, IIとの差のうち最大変動巾とした。																															
						運転状態						モード流						圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )						温度 (°C)						備考														
						I, II						M8						76.1						290						M8 モードにて運転状態I, IIを代表														
						III, IV						M9						86.7						296						M9 モードにて運転状態III, IVを代表														
						試験状態						M16						102.5						38																				

#### 4. 結 論

応力解析結果のまとめに示すように、結果はすべて許容応力強さの範囲内にあり、また、疲れ解析の検討結果も疲労強度を十分満足しており、シールプラグの強度は十分安全である。

#### 5. 参 考 文 献

(1) 「 Formuias for Stress and Strain 」

by Raymond J. Roark

## 1-2 ドームの応力計算

### 1. 結 言

本計算書は、シールプラグのドームについて応力計算を行うものである。

設計条件、応力評価等については、「1-1 シールプラグの応力計算書」に基づく。

応力計算に於て考慮した荷重は、圧力容器内圧およびドームスプリング力であり、自重、地震荷重および熱負荷については、次の理由により無視した。

自重、地震荷重

重量が小さく、圧力荷重に比較して十分小さい。

熱 負 荷

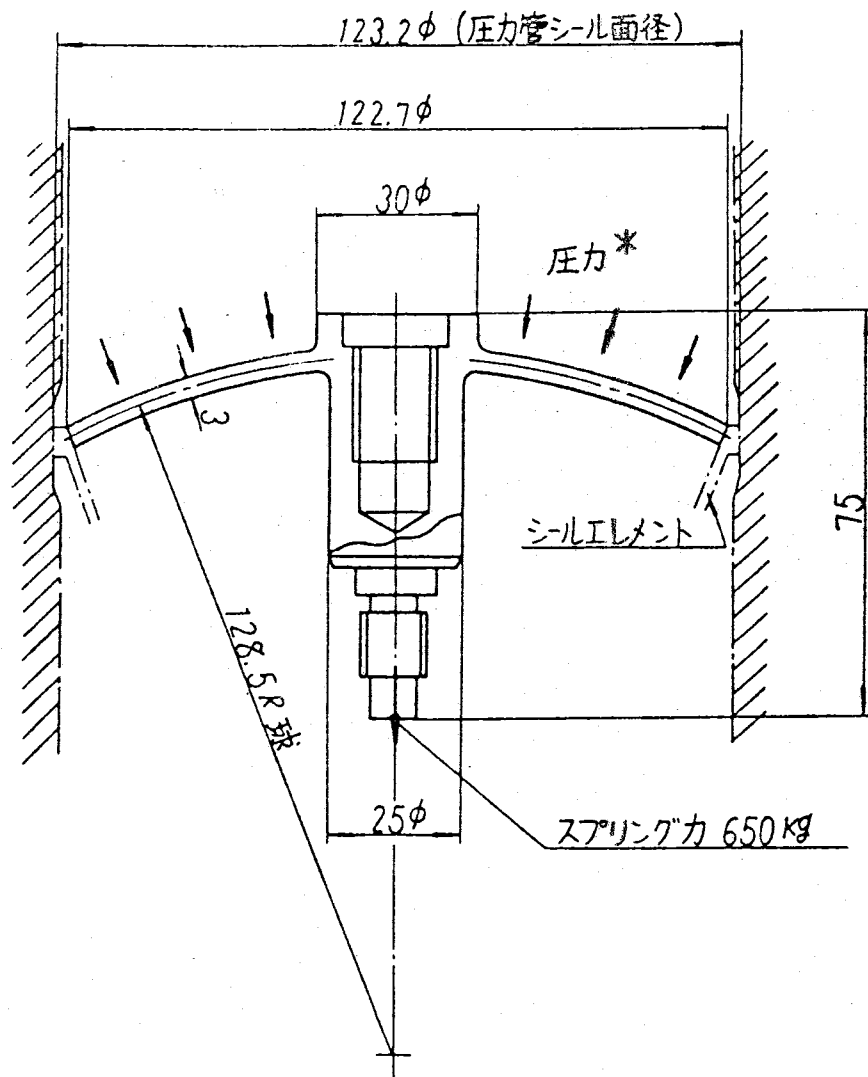
温度分布が十分一様であり、また、過渡変化時においても上部にしゃへいプラグがあるので、温度変化は十分小さい。

### 2. 形状、主要寸法荷重温度条件

ドームの形状、主要寸法および荷重条件は、図1-3に示す。ただし、図に示す寸法は、応力計算上、最小板厚を考慮した値である。

また、各運転状態での応力計算、評価に用いる圧力、温度条件を表1-7に示す。





\* 圧力条件は、表 I-7 に示す。

図 I-3 ドームの形状、主要寸法および荷重条件

表 I-7 応力計算・評価に用いる圧力・温度条件

運転状態	モード番号	運転モード	圧力 kg/cm <sup>2</sup>	温度 °C	備考
設計状態	—	—	8.2	296	
運転状態 I, II	M 8	所内電源喪失	76.1	290	M8モードにて運転状態 I, II を代表
運転状態 III, IV	M 9	スクラム (I)	86.7	296	M9モードにて運転状態 III, IV を代表
試験状態	M 16	耐圧漏洩試験	102.5	38	

### 3. 応力解析

#### 1) 解析方法

ドームに発生する応力は、計算機プログラム「SAFE-SHELL」によって行なう。  
計算モデルを図 I-4 に示す。

#### 2) 応力計算結果

ドームの設計状態荷重時の応力分布を、図 I-5, I-6 に示す。

また、各運転状態荷重時の評価点<sup>[注]</sup>（要素番号⑳, ㉔ および支圧評価点㉑）における応力計算結果を、表 I-9～I-12 に示す。

[注] ドーム部各要素の内、最大応力発生要素について評価した。

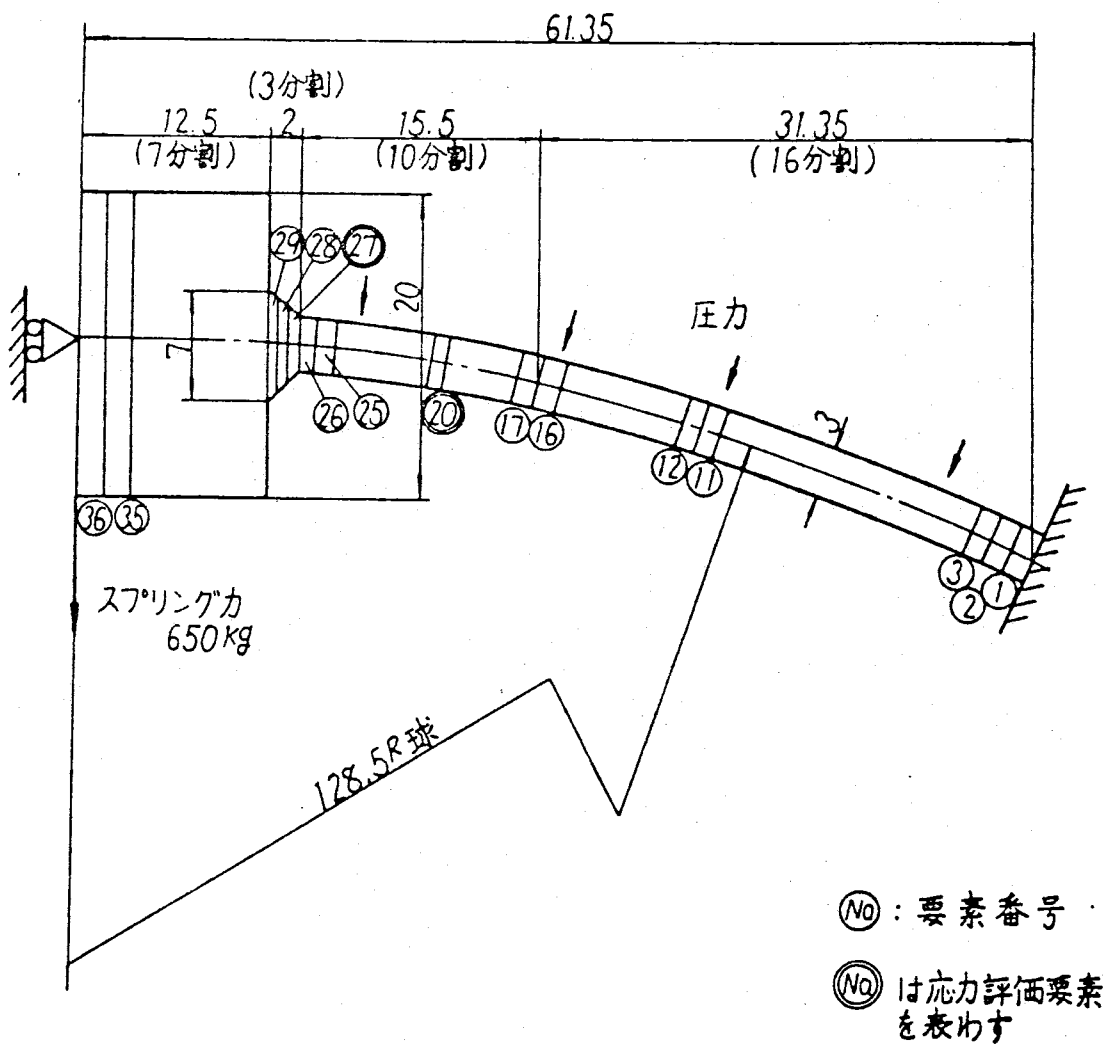


図 I-4 ドーム計算モデル

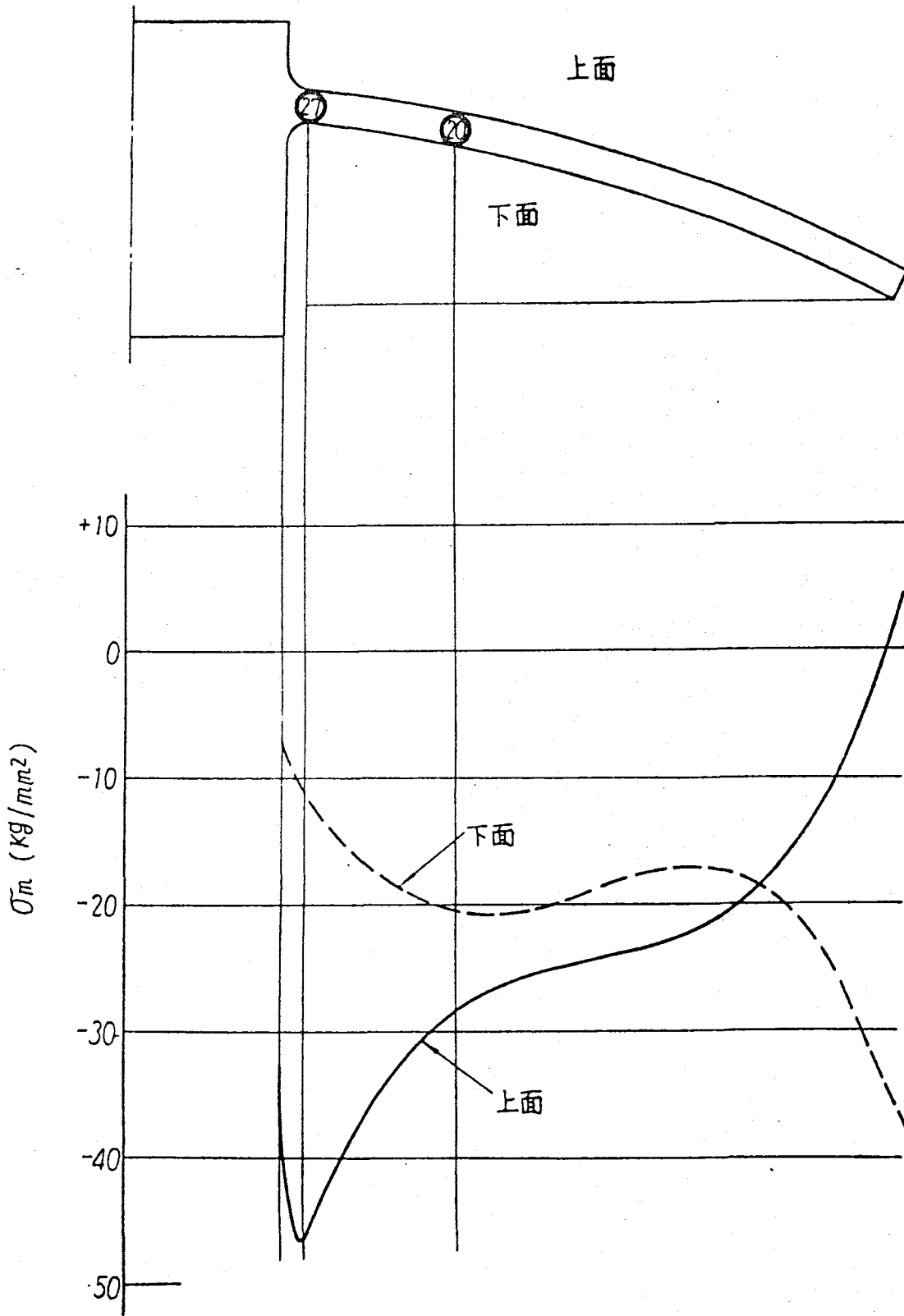


図 I - 5 設計状態での子午線方向応力分布

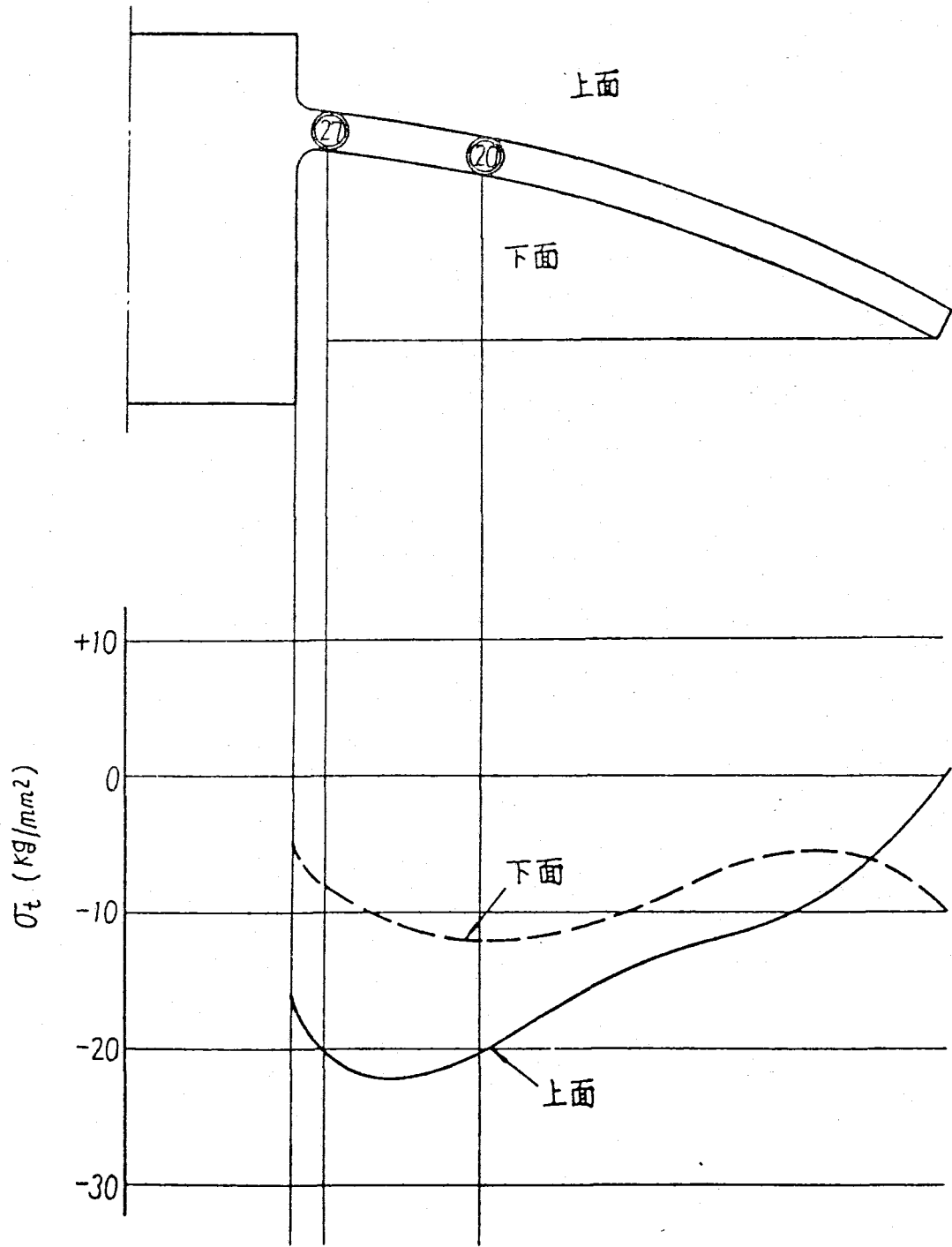


図 1-6 設計状態での円周方向応力分布

#### 4. 応力分類

ドームに生じた応力の分類を表I-8に示す。

表I-8 ドームの応力分類

位 置	要素番号	応力の種類	分 類
不連続部から十分離れた部分	⑫ ~ ⑳	膜 応 力	$P_m$
		曲 げ 応 力	$P_b$
不連続部に近い部分	① ~ ⑪ ⑳ ~ ㉑	膜 応 力	$P_L$
		曲 げ 応 力	$Q$
リ ン グ 部	⑳ ~ ㉑	膜 応 力	$P_L$
		曲 げ 応 力	$P_b$
外 周 端 部	①	子午線方向 膜 応 力	平均支圧応力

$P_m$  : 一次一般膜応力

$P_L$  : 一次局部膜応力

$P_b$  : 一次曲げ応力

$Q$  : 二次応力

表 1-9 設計状態での

評価点における応力計算結果

( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

要素番号 項 目	②①		②⑦		① 平均支圧応力
	上 面	下 面	上 面	下 面	
$\sigma_m$	-24.6		-30.1		—
$\sigma_t$	-16.8		-14.0		—
$\sigma_r$	-0.82	0	-0.82	0	—
$\sigma_{m.b}$	-3.9	3.9	-17.5	17.5	—
$\sigma_{t.b}$	-4.7	4.7	-6.4	6.4	—
$\sigma_{r.b}$	0	0	0	0	—
$\tau_{m.t}$	0		0		—
$\tau_{t.r}$	0		0		—
$\tau_{m.r}$	0.3		1.3		—

$\sigma_m$  : 子午線方向膜応力

$\sigma_t$  : 周 " "

$\sigma_r$  : 肉厚 " "

$\sigma_{m.b}$  : 子午線方向曲げ応力

$\sigma_{t.b}$  : 周 " "

$\sigma_{r.b}$  : 肉厚 " "

$\tau_{m.t}$  : 子午線方向一周方向せん断応力

$\tau_{t.r}$  : 周 " 一肉厚 " "

$\tau_{m.r}$  : 子午線 " 一肉厚 " "



表 I - 10 運転状態 I, II (運転モード M 8) での  
評価点における応力計算結果

(kg/mm<sup>2</sup>)

要素番号 項目	②①		②⑦		①
	上 面	下 面	上 面	下 面	平均支圧応力
$\sigma_m$	-22.8		-27.9		-15.6
$\sigma_t$	-15.6		-13.0		—
$\sigma_r$	-0.76	0	-0.76	0	—
$\sigma_{m.b}$	-3.6	3.6	-16.2	16.2	—
$\sigma_{t.b}$	-4.4	4.4	-5.9	5.9	—
$\sigma_{r.b}$	0	0	0	0	—
$\tau_{m.t}$	0		0		—
$\tau_{t.r}$	0		0		—
$\tau_{m.r}$	0.3		1.2		—

- $\sigma_m$  : 子午線方向膜応力  
 $\sigma_t$  : 周 " "  
 $\sigma_r$  : 肉厚 " "  
 $\sigma_{m.b}$  : 子午線方向曲げ応力  
 $\sigma_{t.b}$  : 周 " "  
 $\sigma_{r.b}$  : 肉厚 " "  
 $\tau_{m.t}$  : 子午線方向一周方向せん断応力  
 $\tau_{t.r}$  : 周 " 一肉厚 " "  
 $\tau_{m.r}$  : 子午線 " 一肉厚 " "

表 I - 11 運転状態Ⅲ, IV (運転モードM9) での  
評価点における応力計算結果

(kg/mm<sup>2</sup>)

要素番号 項目	②①		②⑦		① 平均支圧応力
	上 面	下 面	上 面	下 面	
$\sigma_m$	-26.0		-31.8		-17.8
$\sigma_t$	-17.8		-14.8		—
$\sigma_r$	-0.87	0	-0.87	0	—
$\sigma_{m.b}$	-4.1	4.1	-18.5	18.5	—
$\sigma_{t.b}$	-5.0	5.0	-6.8	6.8	—
$\sigma_{r.b}$	0	0	0	0	—
$\tau_{m.t}$	0		0		—
$\tau_{t.r}$	0		0		—
$\tau_{m.r}$	0.3		1.4		—

- $\sigma_m$  : 子午線方向膜応力  
 $\sigma_t$  : 周 " "  
 $\sigma_r$  : 肉厚 " "  
 $\sigma_{m.b}$  : 子午線方向曲げ応力  
 $\sigma_{t.b}$  : 周 " "  
 $\sigma_{r.b}$  : 肉厚 " "  
 $\tau_{m.t}$  : 子午線方向一周方向せん断応力  
 $\tau_{t.r}$  : 周 " —肉厚 " "  
 $\tau_{m.r}$  : 子午線 " —肉厚 " "

表 I - 12 試験状態での ( 運転モード M 16 ) での  
評価点における応力計算結果

( kg / m<sup>2</sup> )

要素番号 項 目	②①		②⑦		①
	上 面	下 面	上 面	下 面	平均支圧応力
$\sigma_m$	-30.8		-37.6		-21.0
$\sigma_t$	-21.0		-17.5		—
$\sigma_r$	-10.3	0	-10.3	0	—
$\sigma_{m.b}$	-4.9	4.9	-21.9	21.9	—
$\sigma_{t.b}$	-5.9	5.9	-8.0	8.0	—
$\sigma_{r.b}$	0	0	0	0	—
$\tau_{m.t}$	0		0		—
$\tau_{t.r}$	0		0		—
$\tau_{m.r}$	0.4		1.6		—

- $\sigma_m$  : 子午線方向膜応力
- $\sigma_t$  : 周 " "
- $\sigma_r$  : 肉厚 " "
- $\sigma_{m.b}$  : 子午線方向曲げ応力
- $\sigma_{t.b}$  : 周 " "
- $\sigma_{r.b}$  : 肉厚 " "
- $\tau_{m.t}$  : 子午線方向一周方向せん断応力
- $\tau_{t.r}$  : 周 " 一肉厚 " "
- $\tau_{m.r}$  : 子午線 " 一肉厚 " "

5. 応力評価

応力解析によって得た応力を、通産省告示第501号第13条に基づいて評価した結果を以下に示す。

1) 設計状態（最高使用圧力および機械的荷重）における一次応力強さ

(1項一号イ)

表 I - 13 ドーム（要素 ㉔）の応力評価

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		P <sub>m</sub>	P <sub>L</sub> + P <sub>b</sub>	
			上 面	下 面
主 応 力	σ <sub>1</sub>	-24.6	-28.5	-20.6
	σ <sub>2</sub>	-16.8	-21.5	-12.1
	σ <sub>3</sub>	-0.4	-0.8	0
応 力 の 強 さ		24.2	27.7	20.6
許 容 応 力 強 さ		S <sub>m</sub> 32.0	1.5 S <sub>m</sub> 48.0	

表 I - 14 ドーム（要素 ㉕）の応力評価

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		P <sub>L</sub>	P <sub>L</sub> + P <sub>b</sub>
主 応 力	σ <sub>2</sub>	-14.1	-14.1
	σ <sub>3</sub>	-0.4	-0.4
応 力 の 強 さ		29.7	29.7
許 容 応 力 強 さ		1.5 S <sub>m</sub> 48.0	

$S_m = 32.0 \text{ kg/mm}^2 (296^\circ\text{C})$

2) 運転状態Ⅲ, Nにおける一次応力強さ

(1項一号ロおよびハ)

表 I - 15 ドーム (要素 ㉔) の応力評価

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		Pm	P <sub>L</sub> + P <sub>b</sub>	
			上 面	下 面
主 応 力	$\sigma_1$	-26.0	-30.1	-21.8
	$\sigma_2$	-18.8	-22.7	-12.8
	$\sigma_3$	-0.4	-0.8	0
応 力 の 強 さ		25.6	29.3	21.8
許 容 応 力 強 さ		$2/3 Su$ 58.5	$1.5 \times 2/3 Su$ 87.8	

表 I - 16 ドーム (要素 ㉕) の応力評価

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		P <sub>L</sub>	P <sub>L</sub> + P <sub>b</sub>
主 応 力	$\sigma_2$	-15.0	-15.0
	$\sigma_3$	-0.4	-0.4
応 力 の 強 さ		31.4	31.4
許 容 応 力 強 さ		$1.5 \times 2/3 Su$	87.8

$Su = 87.8 \text{ kg/mm}^2 (296^\circ\text{C})$

3) 試験状態における一次応力強さ

(1項一号ニ)

表 I - 17 ドーム (要素 20) の応力評価

( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

応力の分類		$P_m$	$P_L + P_b$	
			上 面	下 面
主応力	$\sigma_1$	-30.8	-35.6	-25.6
	$\sigma_2$	-21.0	-26.9	-15.1
	$\sigma_3$	-0.5	-1.0	0
応力の強さ		30.3	34.6	25.6
許容応力強さ		0.9Sy 79.2	1.5×0.9Sy 118.8	

表 I - 18 ドーム (要素 27) の応力評価

( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

応力の分類		$P_L$	$P_L + P_b$
主応力	$\sigma_1$	-37.6	-37.6
	$\sigma_2$	-17.6	-17.6
	$\sigma_3$	-0.5	-0.5
応力の強さ		37.1	37.1
許容応力強さ		1.5×0.9Sy	118.8

$S_y = 88.0 \text{ kg}/\text{mm}^2 (38^\circ\text{C})$

4) 運転状態ⅠおよびⅡにおける一次+二次応力強さ

(1項一号ホ)

表 I - 19 ドーム(要素 ⑳) の応力評価

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		PL + Pb + Q	
		上 面	下 面
主 応 力	$\sigma_1$	- 2 6.4	- 1 9.2
	$\sigma_2$	- 2 0.0	- 1 1.2
	$\sigma_3$	- 0.8	0
最 大 応 力 強 さ		2 5.6	1 9.2
許 容 応 力 強 さ		$3 S_m$	9 6.0

表 I - 20 ドーム(要素 ㉔) の応力評価

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		PL + Pb + Q	
		上 面	下 面
主 応 力	$\sigma_1$	- 4 4.1	- 1 1.8
	$\sigma_2$	- 1 8.9	- 7.1
	$\sigma_3$	- 0.7	- 0.1
最 大 応 力 強 さ		4 3.4	1 1.7
許 容 応 力 強 さ		$3 S_m$	9 6.0

$$S_m = 32.0 \text{ kg/mm}^2 \text{ (290 } ^\circ\text{C)}$$

(注) 応力強さの最小値は、荷重0、すなわち応力強さを0として評価する。

## 5) 疲れ解析

(1項一号ト)

シールプラグの繰返し荷重に対する解析については、通産省告示第501号第13条1項三号に示される条件を以下に示すように満足しているので疲れ解析を必要としない。

### イ. 大気圧～運転圧力繰返し条件

(告示第501号第13号1項三号イ.)

$$S_m \text{ の } 3 \text{ 倍の値} = 3 \times 32.0 = 96.0 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$3 S_m \text{ に対する許容繰返し回数 } N = 500 \text{ (回)}$$

ここで実際の大気圧～運転圧力繰返し回数は、2-11) 運転条件による原子炉起動・停止繰返し(モードM1) : 360回, 圧力管耐圧・漏洩試験(モードM14・M15) : 55回, 原子炉負荷運転時の圧力管への着脱(モードM3) : 30回および圧力管への装着前の耐圧・漏洩試験(モードM16) : 10回の合計455であり, Nより小さく本条項は満足されている。

### ロ. 起動および停止時を除く運転状態Ⅰ, Ⅱにおける圧力の変動条件

(告示第501号第13条1項三号ロ.)

イ)  $10^6$  回を許容繰返し回数とした場合の圧力変動の全振幅は,

$$A_m = \frac{1}{3} \times P \times \frac{S}{S_m} = \frac{1}{3} \times 82 \times \frac{19}{32} = 16.2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

ここにSは,  $10^6$  回の繰返しに対する許容ピーク応力強さである

ロ) イ) 項の  $A_m$  の値 ( $16.2 \text{ kg/cm}^2$ ) を越える実際の圧力変動の回数は90回である。

(モードM3 : 30回, M8 : 10回, M15 : 50回)

疲れ解析が不要となる圧力変動の全振幅は,

$$A_m = \frac{1}{3} \times P \times \frac{S_a}{S_m} = \frac{1}{3} \times 82 \times \frac{180}{32} = 153.7 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

ここに  $S_a$  は, 90回の繰返しに対する許容ピーク応力強さ。

ここで, 実際の圧力管の圧力変動の全振幅は, 起動および停止時を除く運転状態Ⅰ, Ⅱにおいて,  $73.7 \text{ kg/cm}^2$  (モードM3),  $25.0 \text{ kg/cm}^2$  (モードM8),  $76.3 \text{ kg/cm}^2$  (モードM15) であり, 上記  $A_m$  より小さいので本条項は満足される。



ハ. 起動時および停止時の任意の二点間の温度差条件

(告示第501号第13条1項三号ハ)

温度差検討の対象となる任意の二点間の距離は、

$$P = 2\sqrt{Rt} = 2\sqrt{128.5 \times 3} = 39.3 \text{ (mm)}$$

ここに、Rおよびtは、ドームの平均半径および板厚である。

疲れ解析が不要となる任意の二点間の最大温度差は、

$$T = \frac{S_a}{2E\alpha} = \frac{100}{2 \times 1.85 \times 10^4 \times 12.31 \times 10^{-6}} = 220 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

ここに、 $S_a$ は起動停止(モードM1)および負荷運転時の圧力管への着脱(モードM3)回数(計390回)の繰返しに対する許容ピーク応力強さである。

ここで、 $P = 39.3 \text{ mm}$ の範囲内における任意の二点間の温度差は、 $T = 220 \text{ }^\circ\text{C}$ を越えることはないので、本条項は満足される。

ニ. 起動停止時を除く運転状態I, IIにおける任意の二点間の温度差の変動条件

(告示第501号第13条1項三号ニ)

$10^6$ 回を許容繰返し回数とした場合の温度差の全振幅は、

$$T = \frac{S}{2E\alpha} = \frac{19}{2 \times 1.85 \times 10^4 \times 12.31 \times 10^{-6}} = 41.7 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

このTの値( $41.7 \text{ }^\circ\text{C}$ )を越える実際の温度変動はないので、本条項は満足される。

ホ. 異種金属間温度差条件

(告示第501号第13条1項三号ホ)

縦弾性係数または、瞬時熱膨張係数が異なる材料で作られた部分は、存在しない。

ヘ. 接続配管反力その他の機械的荷重条件

(告示第501号第13条1項三号ヘ)

接続される配管類はなく、また、機械的荷重による応力の振幅はない。

なお、ドームに作用するスプリング力650kgは、圧力管への着脱操作時に0となるが、これによる応力の振幅は1項で考慮している。

6) 純せん断荷重

(1項一号チ)

純せん断荷重を受ける部分は存在しない。

7) 運転状態Ⅰ, Ⅱ, Ⅲおよび試験状態における支圧応力

(1項一号リ)

以下に示す通り許容応力を満足している。

( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

運転状態	外周端部の 平均支圧応力	許容応力	評価温度
Ⅰ, Ⅱ	-15.6	-71.8 (Sy)	290℃
Ⅲ	-17.8	-71.6 (Sy)	296℃
試験状態	-21.0	-88.0 (Sy)	38℃

6. 結 論

応力評価において示したとおり, ドームの応力強さの限界および許容応力は, 通産省告示第501号第13条に適合している。

### 1-3 非耐圧部の応力計算書

#### 1. 緒 言

本計算書は、シールブラグの非耐圧部である本体(1)、(2)、ラッチについて応力計算を行なうものである。

設計条件、応力評価等については、「1-1 シールブラグの応力計算書」に基づく。

応力計算に於て考慮した荷重は、圧力容器内圧によるものであり、その他の荷重(自重、熱負荷等)は、「1-2 ドームの応力計算書」に示す理由により無視した。

疲れ解析については、「1-1 シールブラグの応力計算書」に示すように必要としない。

#### 2. 形状および主要寸法

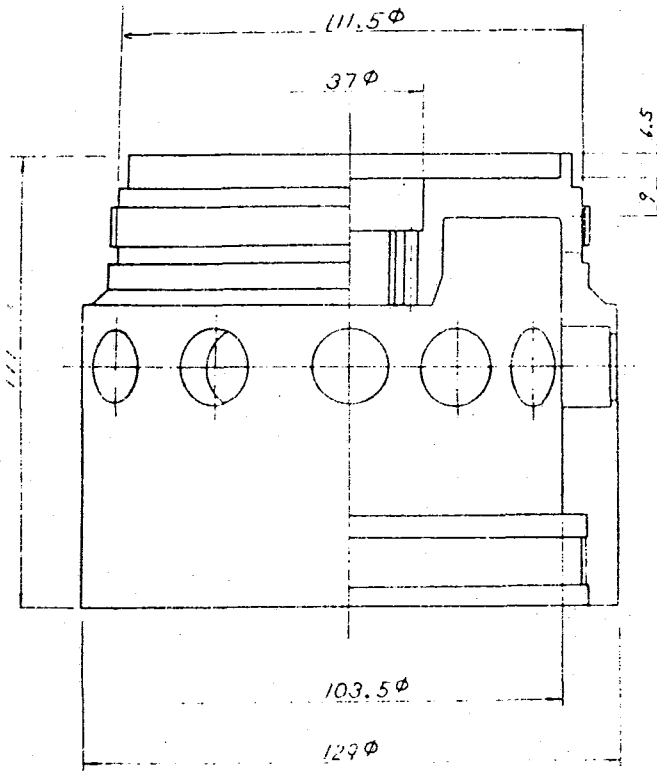
非耐圧部の各部品の形状、主要寸法を以下に示す。但し、図に示す寸法は強度計算上、最小板厚を考慮した寸法である。

- 本体(1) ..... 図1-7 a)
- 本体(2) ..... 図1-7 b)
- ラッチ ..... 図1-7 c)

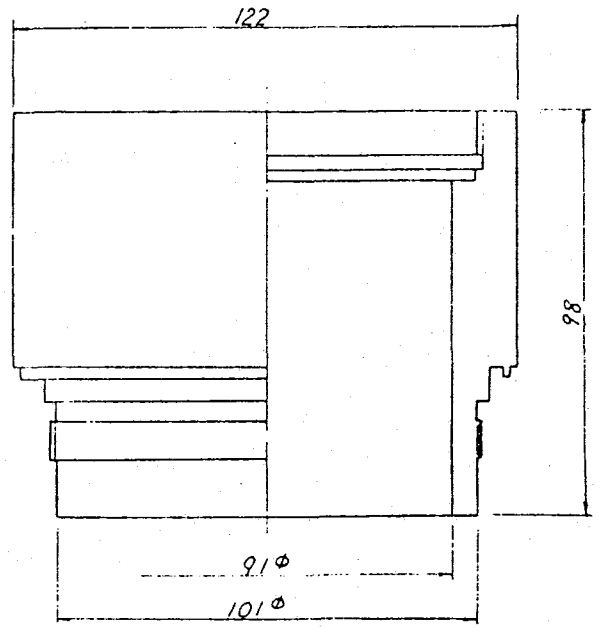
#### 3. 非耐圧部の荷重状態

非耐圧部の圧力管内での圧力による各部の荷重状態を図1-8に示す。

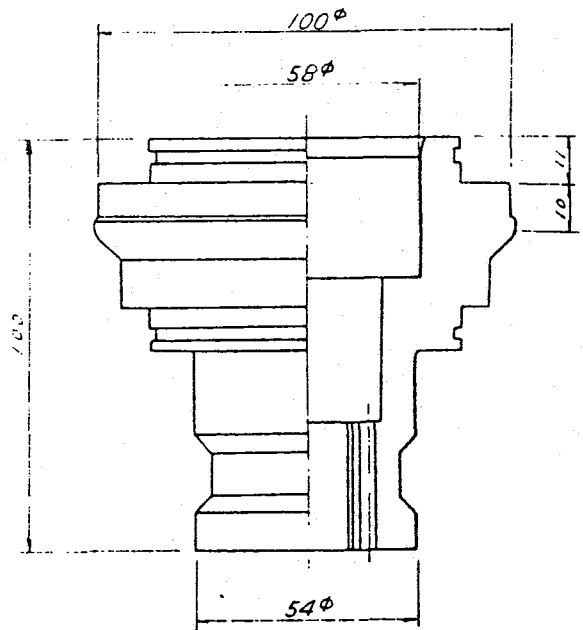
(単位: mm)



b) 本体(2)



a) 本体(1)



c) ラッチ

図 1-7 本体(1), (2)ラッチの形状および主要寸法

W: 圧力管内圧によりシールプラグ  
 が受ける全荷重

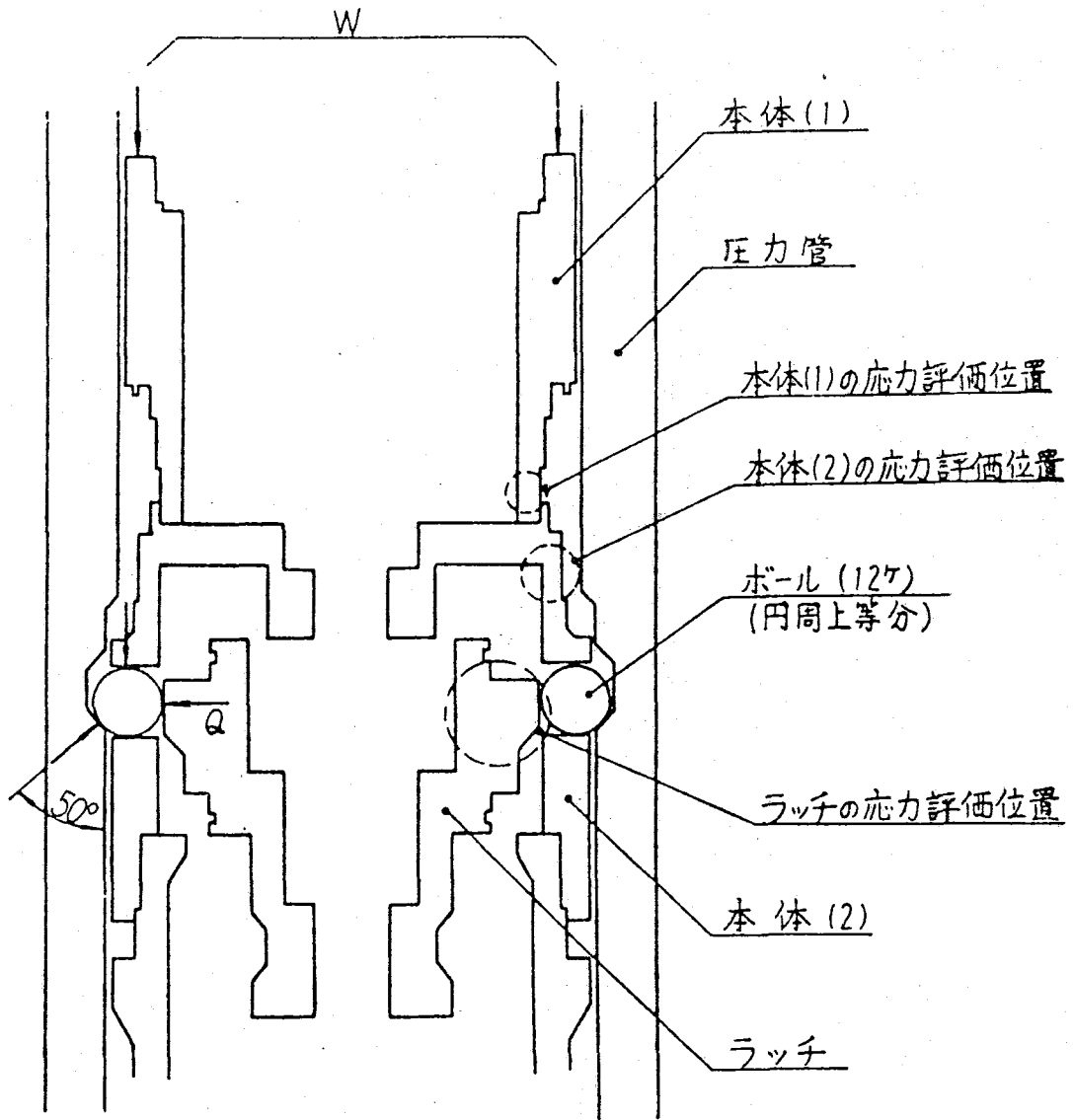


図1-8 非耐圧部の荷重状態

#### 4. 応力解析

##### 1) 本体(1)の応力解析とその評価

本体(1)の最小肉厚部に発生する応力は、以下のように求める。応力解析、応力の分類およびその評価を表 I - 21, 22, 23, 24, 25, 26 に示す。

表 I - 21 本体(1)の応力解析

計 算 式	薄肉部軸方向膜応力			
	$\sigma_L = \frac{W}{\pi \cdot D \cdot t}$			
使 用 記 号	意 味	記 号	運 転 状 態	数 値
	圧力管内圧によるシール プラグが受ける全荷重 (kg)	W	設計状態	9,770 kg
			I, II	9,067
			III, IV	10,330
			試験状態	12,213
薄肉部平均直径 (mm)	D	—	96	
薄肉部肉厚 (mm)	t	—	5	
計 算 結 果	軸方向膜応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_L$	設計状態	-6.5 kg/mm <sup>2</sup>
			I, II	-6.0
			III, IV	-6.9
			試験状態	-8.1

表 I - 22 本体(1)の応力分類

評価位置	応力の種類	応力の分類
薄肉部	膜 応 力	P <sub>m</sub>

表 I - 23 本体 (1) の応力評価 (設計状態)

( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

応力の分類		$P_m$	$P_L + P_b$
評価位置		薄肉部	
主応力	$\sigma_1$	- 6.5	- 6.5
	$\sigma_2$	0	0
	$\sigma_3$	0	0
応力強さ		6.5	6.5
許容応力強さ		$S_m$ 32.0	$1.5S_m$ 48.0

表 I - 24 本体 (1) の応力評価 (運転状態 I, II)

( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

応力の分類		$P_L + P_b + Q$
評価位置		薄肉部
主応力	$\sigma_1$	- 6.0
	$\sigma_2$	0
	$\sigma_3$	0
応力強さ		6.0
許容応力強さ		$3 S_m$ 96.0

表 I - 25 本体(1)の応力評価 (運転状態Ⅲ,Ⅳ)

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		P <sub>m</sub>	P <sub>L</sub> + P <sub>b</sub>
評価位置		薄 肉 部	
主 応 力	σ <sub>1</sub>	- 6.9	- 6.9
	σ <sub>2</sub>	0	0
	σ <sub>3</sub>	0	0
応 力 強 さ		6.9	6.9
許 容 応 力 強 さ		2/3 Su 5 8.5	1.5×2/3 Su 8 7.8

表 I - 26 本体(1)の応力評価 (試験状態)

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		P <sub>m</sub>	P <sub>L</sub> + P <sub>b</sub>
評価位置		薄 肉 部	
主 応 力	σ <sub>1</sub>	- 8.1	- 8.1
	σ <sub>2</sub>	0	0
	σ <sub>3</sub>	0	0
応 力 強 さ		8.1	8.1
許 容 応 力 強 さ		0.9 Sy 7 9.2	1.5×0.9 Sy 1 1 8.8



2) 本体(2)の応力解析とその評価

本体(2)は、本体(1)との連結部において全荷重を支持する。応力解析、応力の分類およびその評価を、表1-27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36に示す。

表1-27 本体(2)の応力解析

計          式	薄肉円筒胴部
	$\sigma_L = \frac{W}{\pi \cdot a \cdot t}$
	薄肉円筒胴部上端(荷重支持円板接続部)
	$\sigma_t = \frac{V_0}{t} \lambda \cdot a - \frac{M_0}{t} \lambda^2 \cdot a$
	$\sigma_{L \cdot b} = \pm \frac{6 M_0}{t^2}$
	$\sigma_{t \cdot b} = \nu \cdot \sigma_{L \cdot b}$
	$\tau_{L \cdot r} = \frac{V_0}{t}$
	ここで
	$V_0 = \frac{-2 T_2 (h + 0.5377 f) W}{1.86 f t + T_1 [h^2 (2 + 0.116 \frac{f}{t} T_1) + 1.6103 f h + 0.866 f^2]}$
	$M_0 = \frac{(h^2 T_1 + 1.86 f t) V_0 + h T_2 W}{1.5 T_1 h - 3.464 t}$
$f = \sqrt{a \cdot t}$	
$T_1 = \frac{t^3 (3 a^2 + 5 d^2)}{h^3 (d^2 - a^2)}$	
$T_2 = \frac{3.58 t^3}{h^3 (d^2 - a^2)} \left[ \frac{d^2}{3} \log \frac{b}{a} + 0.1 (b^2 - a^2) \right]$	

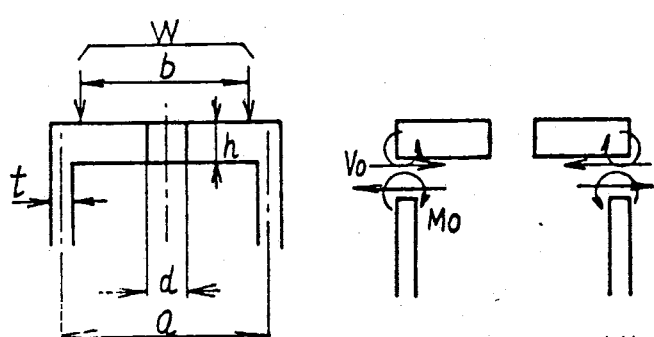
計 算 式	$\lambda = \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu^2)}{(\frac{a}{2})^2 \cdot t^2}}$						
使 用 記 号	意 味	記 号	運 転 状 態	数 値			
	圧力管内圧によりシールプラグが 受ける全荷重 (kg)	W	設計状態	9,770			
			I, II	9,067			
			III, IV	10,330			
			試験状態	12,213			
	薄肉円筒胴部平均直径 (mm)	a	—	107.5			
	荷重作用直径 (mm)	b	—	101			
	荷重支持円板内径 (mm)	d	—	37			
	薄肉円筒胴部肉厚 (mm)	t	—	4			
	荷重支持円板肉厚 (mm)	h	—	9			
計 算 結 果	運 転 状 態 応 力	設計状態	I, II	III, IV	試験状態		
		軸方向膜応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_L$	— 7.2	— 6.7	— 7.6	— 9.0
		周方向膜応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_t$	9.2	8.4	9.4	11.2
		軸方向曲げ応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{Lb}$	±45.3	±42.0	±47.9	±56.6
		周方向曲げ応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{tb}$	±13.6	±12.6	±14.4	±17.0
		軸方向—半径方向せん断応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{Lr}$	3.6	3.4	3.8	4.5
備 考	<p>計算モデル</p>  <p style="text-align: right;">計算式 参考文献(1)による</p>						

表 I - 28 本体 (2) の応力分類

評 価 位 置	応力の種類	応力の分類
薄 肉 円 筒 胴 部	膜 応 力	$P_m$
薄 肉 円 筒 胴 部 上 端	膜 応 力	$P_L$
	曲 げ 応 力	$Q$

表 I - 29 本体(2)薄肉円筒胴部の応力評価 (設計状態)

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		Pm	PL + Pb
主 応 力	$\sigma_1$	-7.2	-7.2
	$\sigma_2$	0	0
	$\sigma_3$	0	0
応 力 強 さ		7.2	7.2
許 容 応 力 強 さ		32.0	48.0

表 I - 30 本体(2)薄肉円筒胴部上端の応力評価 (設計状態)

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		PL	PL + Pb
主 応 力	$\sigma_1$	1.5	1.5
	$\sigma_2$	9.2	9.2
	$\sigma_3$	-8.7	-8.7
応 力 強 さ		17.9	17.9
許 容 応 力 強 さ		1.5Su 48.0	1.5Sm 48.0

表 I - 31 本体(2)薄肉円筒胴部の応力評価(運転状態 I, II)

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		PL + Pb + Q	
		外面	内面
主応力	$\sigma_1$	-6.7	-6.7
	$\sigma_2$	0	0
	$\sigma_3$	0	0
応力強さ		6.7	6.7
許容応力強さ		3Sm	96.0

表 I - 32 本体(2)薄肉円筒胴部上端の応力評価(運転状態 I, II)

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		PL + Pb + Q	
		外面	内面
主応力	$\sigma_1$	35.6	0.2
	$\sigma_2$	21.0	-4.2
	$\sigma_3$	-0.3	-48.9
応力強さ		35.9	49.1
許容応力強さ		3Sm	96.0

表 I - 33 本体(2)薄肉円筒胴部の応力評価 ( 運転状態Ⅲ,Ⅳ )

( kg / mm<sup>2</sup> )

応力の分類		Pm	PL + Pb
主 応 力	$\sigma_1$	- 7.6	- 7.6
	$\sigma_2$	0	0
	$\sigma_3$	0	0
応 力 強 さ		7.6	7.6
許 容 応 力 強 さ		$2/3 Su$ 5 8.5	$1.5 \times 2/3 Su$ 8 7.8

表 I - 34 本体(2)薄肉円筒胴部上端の応力評価 ( 運転状態Ⅲ,Ⅳ )

( kg / mm<sup>2</sup> )

応力の分類		PL	PL + Pb
主 応 力	$\sigma_1$	1.6	1.6
	$\sigma_2$	9.4	9.4
	$\sigma_3$	- 9.2	- 9.2
応 力 強 さ		1 8.6	1 8.6
許 容 応 力 強 さ		$2/3 Su$ 5 8.5	$1.5 \times 2/3 Su$ 8 7.8

表 I - 35 本体(2)薄肉円筒胴部の応力評価(試験状態)

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		P <sub>m</sub>	PL + Pb
主 応 力	$\sigma_1$	- 9.0	- 9.0
	$\sigma_2$	0	0
	$\sigma_3$	0	0
応 力 強 さ		9.0	9.0
許 容 応 力 強 さ		0.9 Sy 7 9.2	1.5×0.9 Sy 1 1 8.8

表 I - 36 本体(2)薄肉円筒胴部上端の応力評価(試験状態)

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		PL	PL + Pb
主 応 力	$\sigma_1$	1.9	1.9
	$\sigma_2$	1 1.2	1 1.2
	$\sigma_3$	- 1 0.9	- 1 0.9
応 力 強 さ		2 2.1	2 2.1
許 容 応 力 強 さ		0.9 Sy 7 9.2	1.5×0.9 Sy 1 1 8.8

3) ラッチの応力解析とその解析

ラッチは、圧力管内圧による荷重を、周上12ヶ所等分に位置するボールを介して、半径方向に受ける。応力解析においては、安全側に考えて、ラッチを荷重作用部の厚さの短い厚肉円筒として行なう。

荷重は集中荷重であるが、解析は短い厚肉円筒に一様外圧が作用するものとして行なっている。

表 I - 37 ラッチの応力解析

計 算 式	$\sigma_t = -\frac{R_2^2 \cdot q}{R_2^2 - R_1^2} \left( 1 + \frac{R_1^2}{r^2} \right)$						
	$\sigma_r = -\frac{R_2^2 \cdot q}{R_2^2 - R_1^2} \left( 1 - \frac{R_1^2}{r^2} \right)$						
	但し						
	$q = \frac{Q}{2\pi R_2 L} = \frac{W \tan 50^\circ}{2\pi R_2 L}$						
	(Qは図 I - 8 に示す)						
使 用 記 号	意味	記号	運転状態	数値			
	圧力管内圧によりシールプラグが受ける全荷重 (kg)	W	設計状態	9,770			
			I, II	9,067			
			III, IV	10,330			
試験状態			12,213				
荷重支持部内面半径 (mm)	R <sub>1</sub>	—	29				
荷重支持部外面半径 (mm)	R <sub>2</sub>	—	50				
荷重支持部長さ (mm)	L	—	10				
計 算 結 果	円周方向応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>t</sub>	運転状態	設計状態	I, II	III, IV	試験状態
			内面	-11.2	-10.4	-11.84	-14.00
	外面	-7.5	-7.0	-7.93	-9.34		
	半径方向応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>r</sub>	内面	0	0	0	0
外面			-3.7	-3.4	-3.91	-4.63	



計算モデル

備  
考

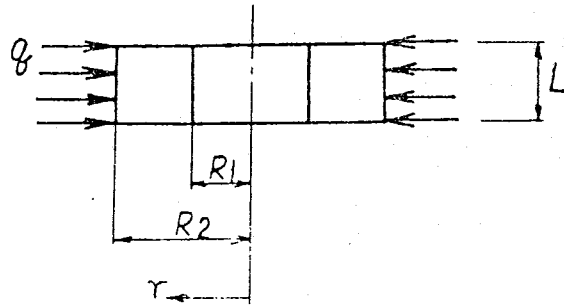


表1-38 ラッチの応力分類

評価位置	応力の種類	応力の分類
荷重支持部	膜 応 力	$P_m$
	曲 げ 応 力	$P_b$

表 I - 39 ラッチの応力評価 (設計状態)

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		Pm	PL + Pb	
評価位置		荷重支持部	荷重支持部	
			内面	外面
主応力	$\sigma_1$	0	0	0
	$\sigma_2$	-9.35	-11.2	-7.5
	$\sigma_3$	-1.85	0	-3.7
応力強さ		9.35	11.2	7.5
許容応力強さ		Sm 32.0	1.5 Sm	48.0

表 I - 40 ラッチの応力評価 (運転状態 I, II)

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		PL + Pb + Q	
評価位置		荷重支持部	
		内面	外面
主応力	$\sigma_1$	0	0
	$\sigma_2$	-10.4	-7.0
	$\sigma_3$	0	-3.4
応力強さ		10.4	7.0
許容応力強さ		3 Sm	96.0

表 I - 41 ラッチの応力評価 (運転状態Ⅲ, N)

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		Pm	PL + Pb	
評価位置		荷重支持部	荷重支持部	
			内面	外面
主応力	$\sigma_1$	0	0	0
	$\sigma_2$	-9.89	-11.84	-7.93
	$\sigma_3$	-1.96	0	-3.91
応力強さ		9.89	11.84	7.93
許容応力強さ		$2/3 Su$ 58.5	$1.5 \times 2/3 Su$ 87.8	

表 I - 42 ラッチの応力評価 (試験状態)

(kg/mm<sup>2</sup>)

応力の分類		Pm	PL + Pb	
評価位置		荷重支持部	荷重支持部	
			内面	外面
主応力	$\sigma_1$	0	0	0
	$\sigma_2$	-11.67	-14.00	-9.34
	$\sigma_3$	-2.32	0	-4.63
応力強さ		11.67	14.00	9.34
許容応力強さ		$0.9 Sy$ 79.2	$1.5 \times 0.9 Sy$ 118.8	

## 5. 結 論

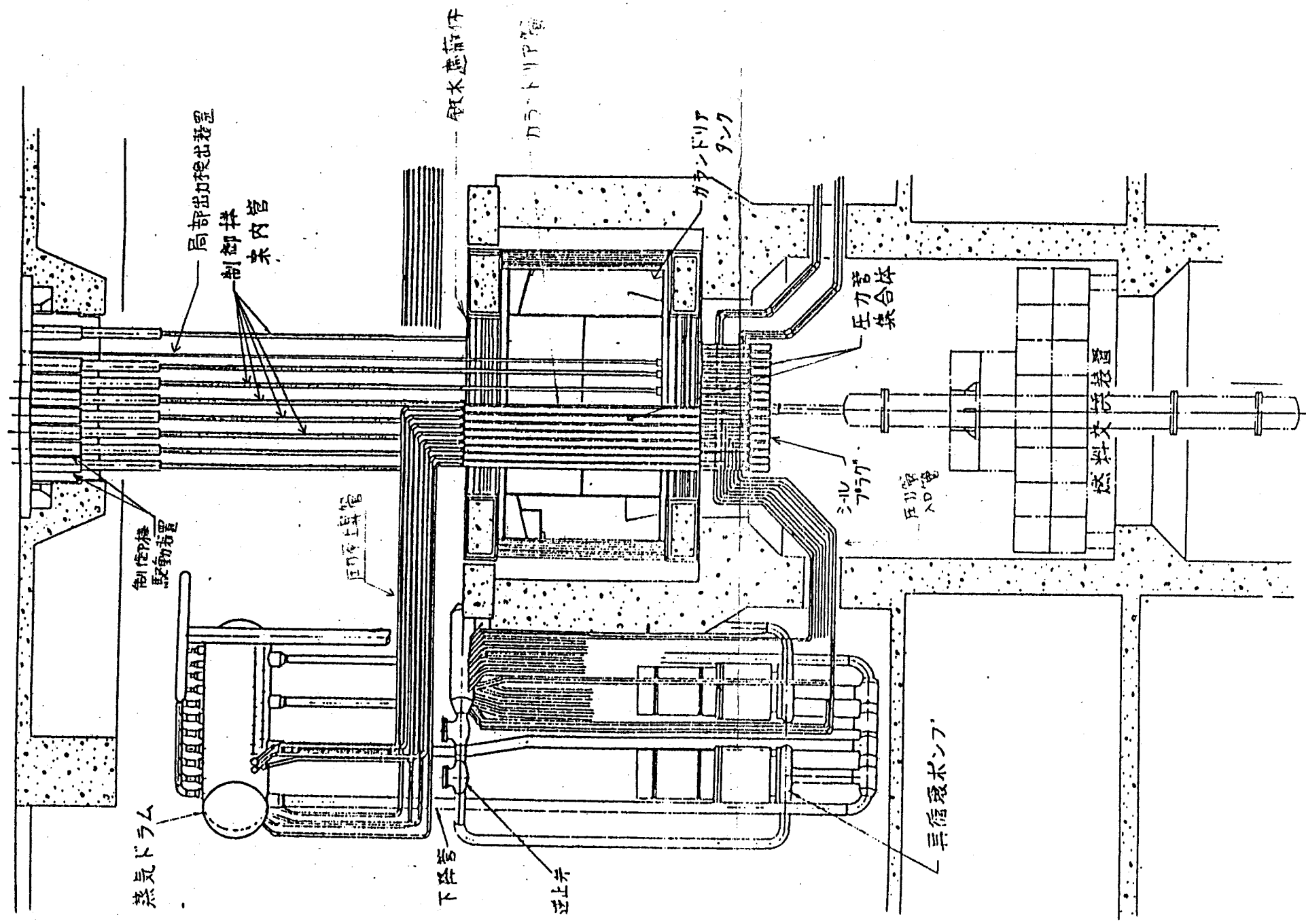
表1-23~26, 1-29~36, 1-39~42 に示すとおり, 非耐圧部の応力評価結果は, すべて許容応力強さの範囲内にあり, また, ボールについても, 実物荷重試験によりその安全性が十分であることが確認された。

添 付 図 表

# 添 付 図 表

## 目 次

図-I	原子炉断面図
図-II	原子炉平面図
図-III-1	シールプラグ
図-III-2	シールプラグ, シャヘイプラグ
図-III-3	シールプラグ取替工事フロー
表-I	寸法許容誤差表

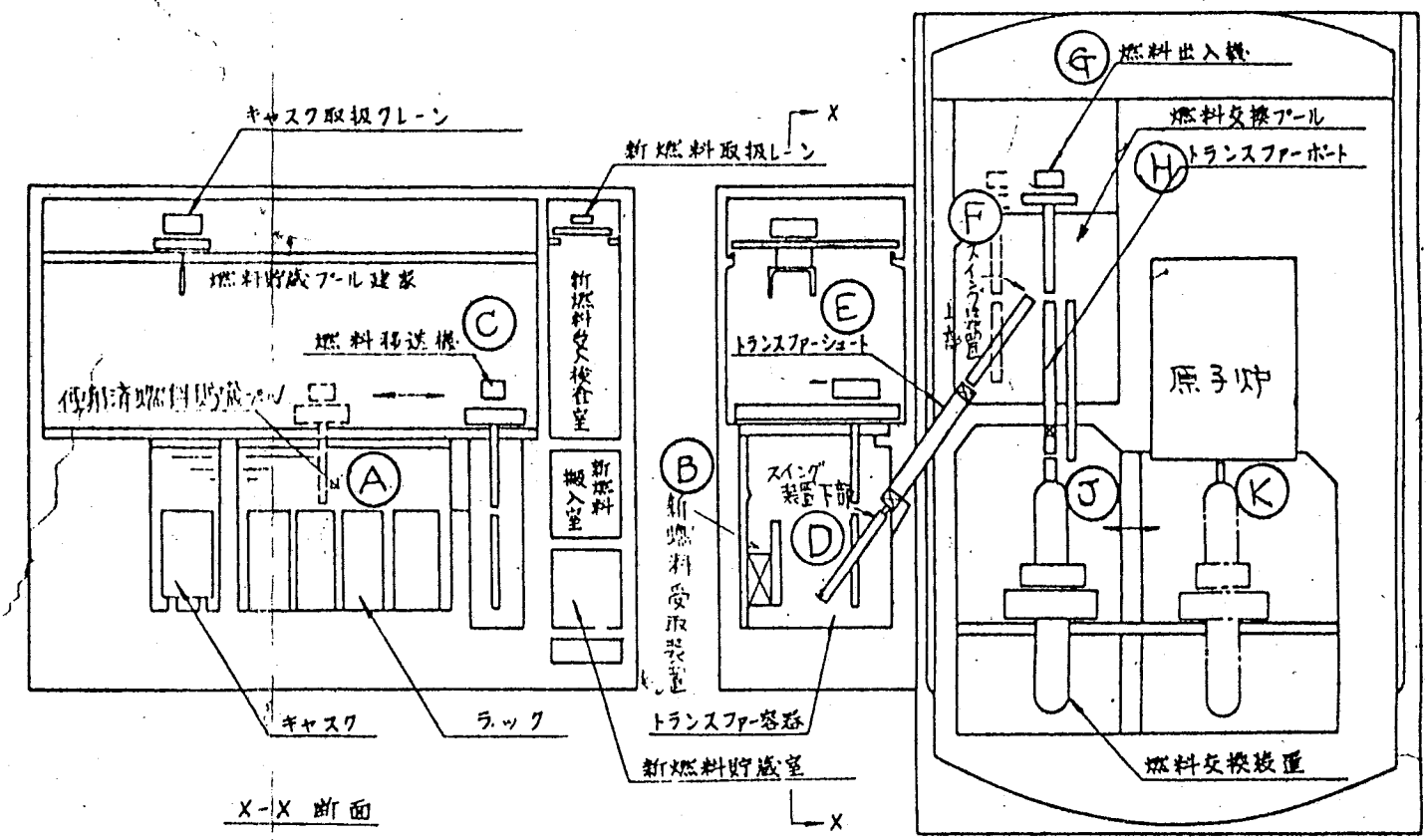


# 新型転換炉ふげん発電所

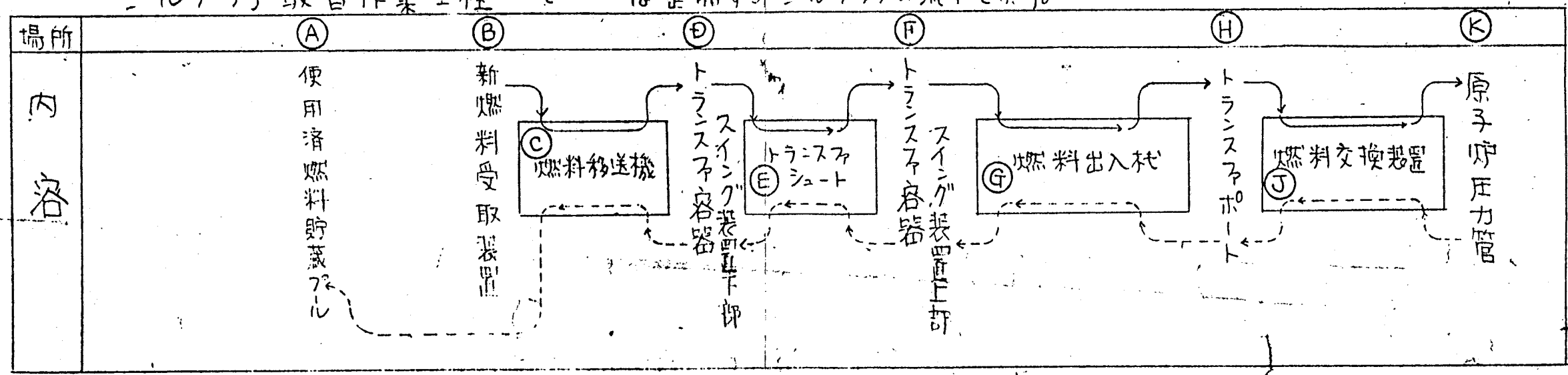
名称	ふげん発電所		
図号	I		
尺	日	付	承認
	5.16		
動力炉・核燃料開発事業団			

図-III-3 ミールプラグ取替工事フロー

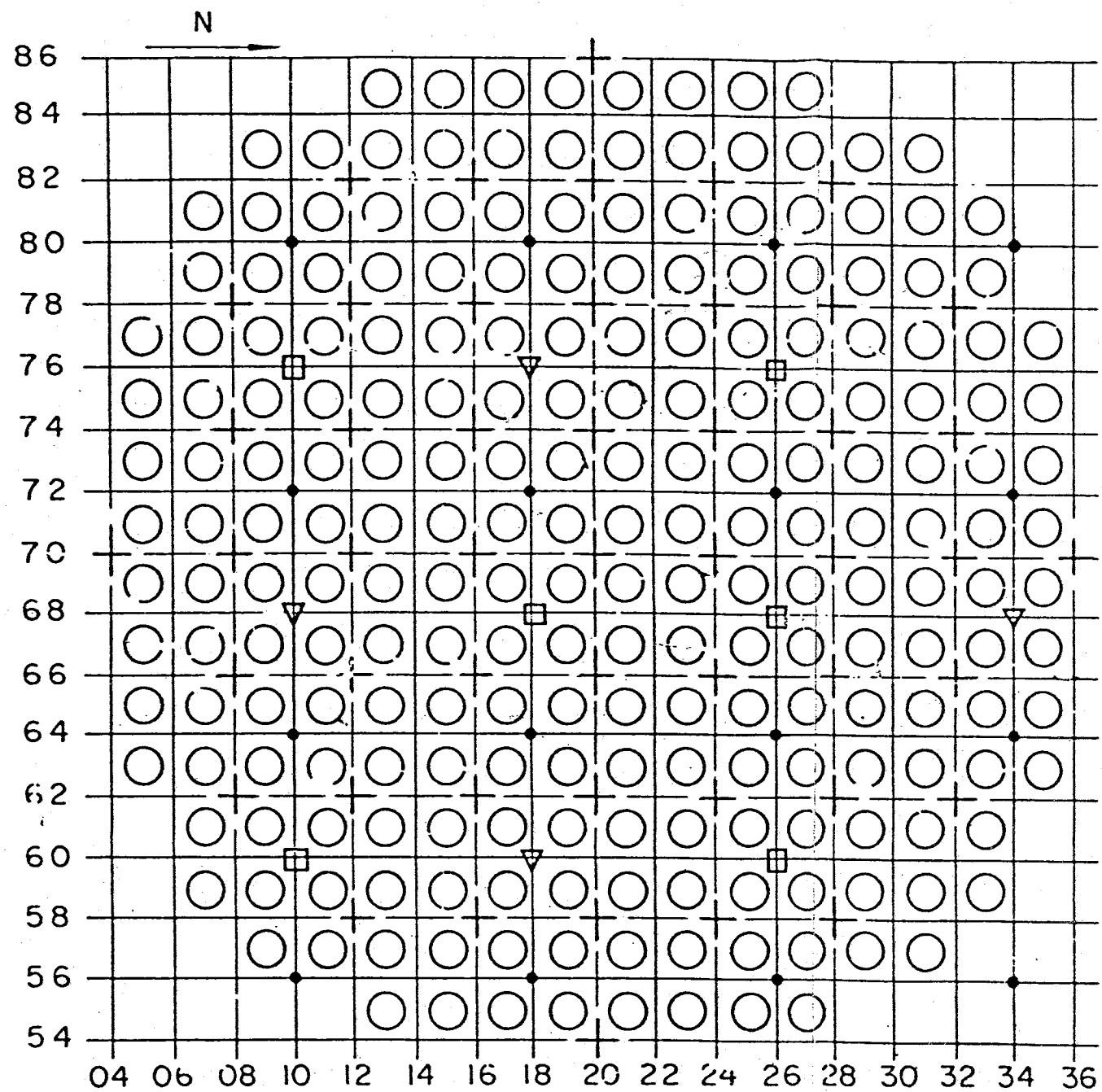
917°



ミールプラグ取替作業工程 例 { ---> は 取外した ミールプラグの 流れを示す。  
 —> は 整備済み ミールプラグの 流れを示す。







記号説明

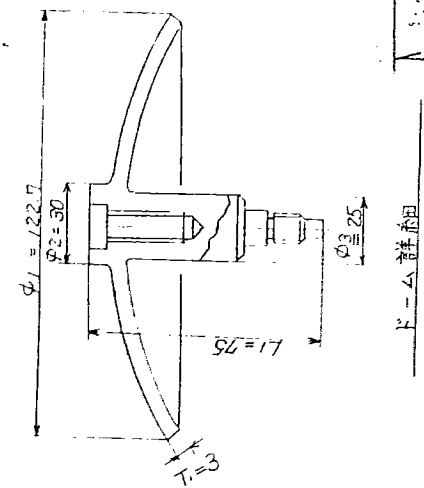
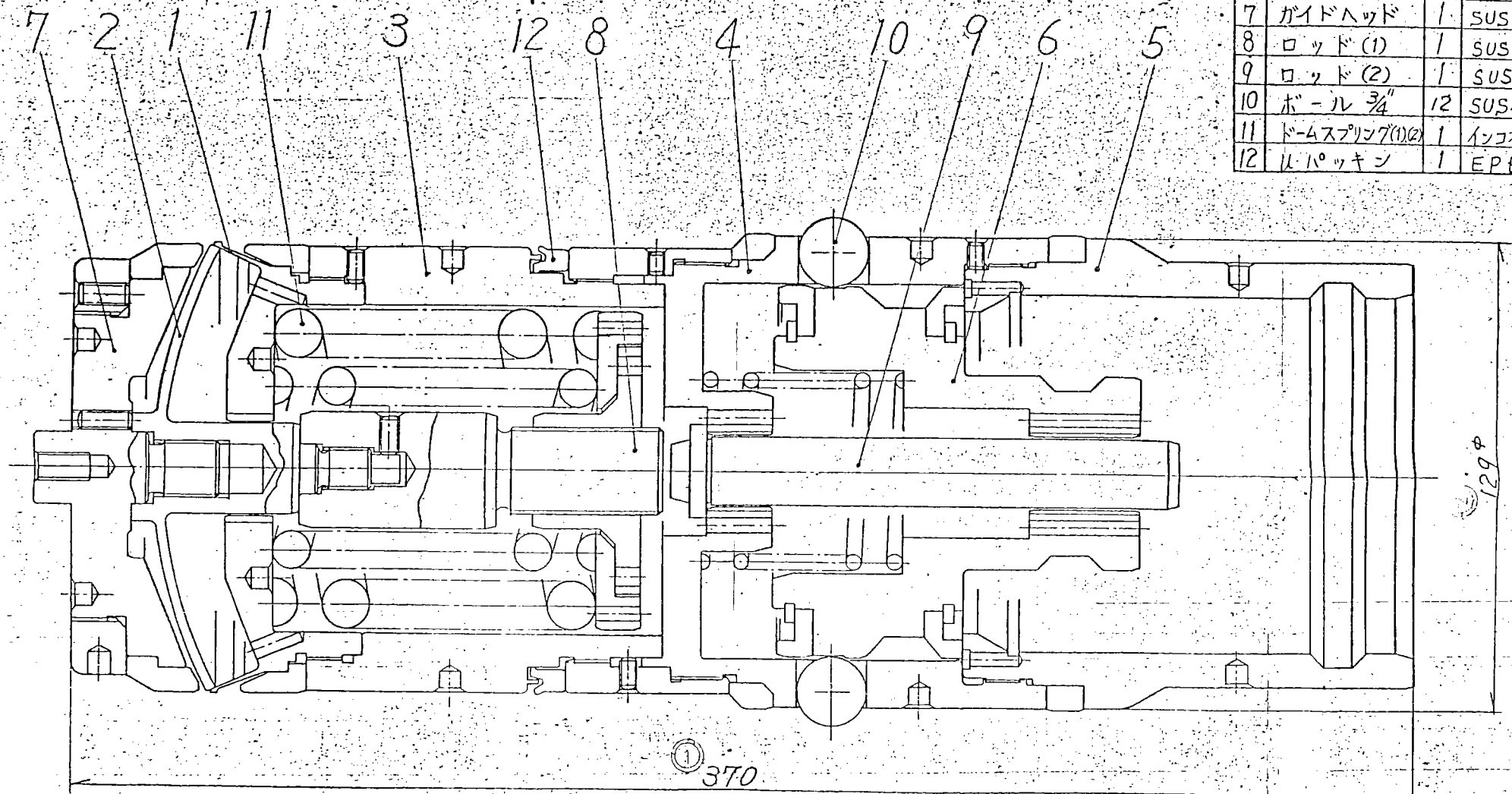
記号	機器名称
+	制御棒(駆動装置)
●	局部出力検出器
□	出力上昇検出器
▽	起動用検出器
○	燃料, $3-10^{23}$

新型転換炉ふげん発電所

名称	原子炉平面図		
図番	II		
尺度	目付	縮尺	製作
	S55-10		

動力炉・核燃料開発事業団

部番	名称	個数	材質	備考
1	シールエレメント	1	Ti-6Al-4V*	ホウシール材
2	ドーム	1	SUS630	耐圧部
3	本体(1)	1	SUS630	非耐圧部
4	本体(2)	1	SUS630	〃
5	本体(3)	1	SUS630	
6	ラッチ	1	SUS630	非耐圧部
7	ガイドヘッド	1	SUS630	
8	ロッド(1)	1	SUS630	
9	ロッド(2)	1	SUS630	
10	ボール 3/4"	12	SUS440C	非耐圧部
11	ドームスプリング(1)φ	1	インコネルX	
12	Oリング	1	EPDM	ホウシール材



ドーム詳細

\* Ti-6Al-4Vの機械的性質及び化学成分と下記に示す。

機械的性質				
降伏点 (0.2%耐力)	引張強さ	伸び	絞り	硬さ試験
Kg/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	%	%	Hv
98以上	105以上	8以上	15以上	300以上

化学成分(%)							
C	Fe	N	O	H	Al	V	Ti
0.10以下	0.30以下	0.05以下	0.20以下	0.0125以下	5.50~6.75	3.50~4.50	Balance

新型転換型水素発電所	
名称	
日付	
尺貫	
動力部・機械部開発課	

A

B

C

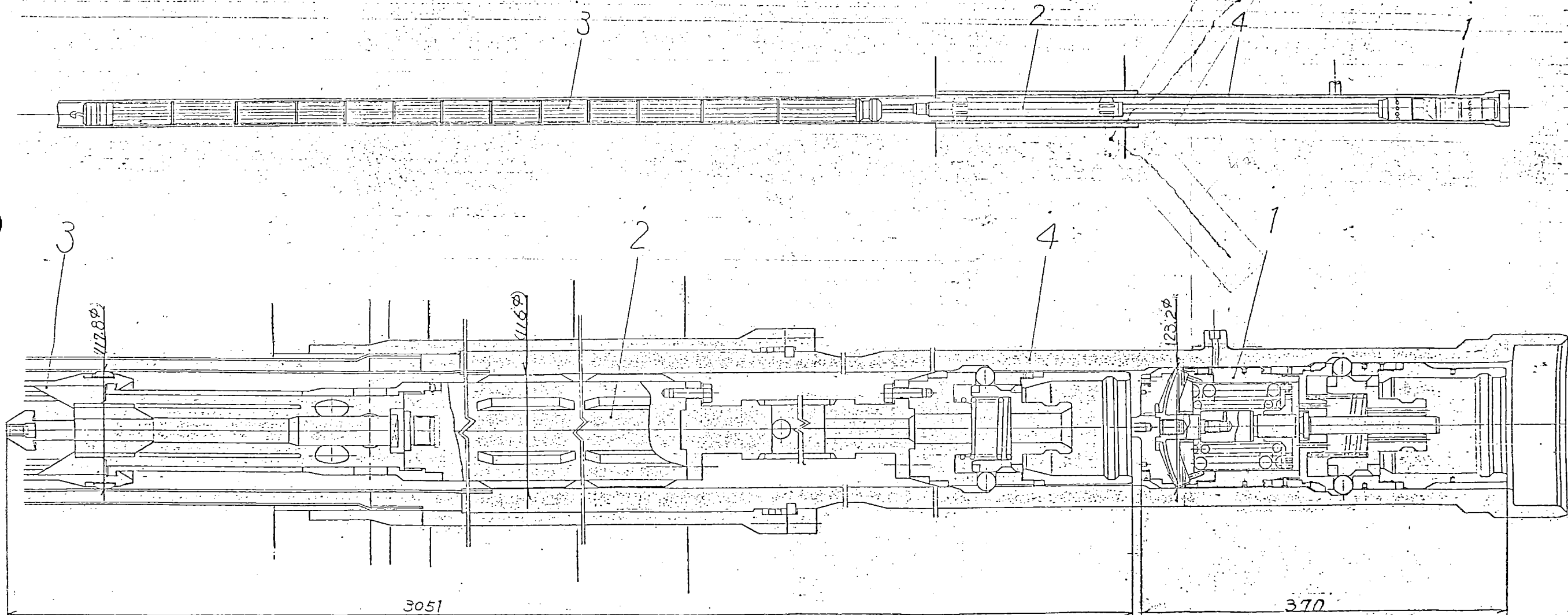
D

E

F

G

部番	名称
1	シールプラグ
2	下部シールプラグ
3	燃料集合体
4	圧力管集合体



新型転換炉ふげん発電所	
名	シールプラグ下部シールプラグ
図	Ⅱ-2
尺	1/20
動力	原子力発電所