

VI-3-別添8 原子炉压力容器スカートの強度計算書

目 次
(原子炉压力容器スカート)

| | |
|---------------------|----|
| 1. 一般事項 | 1 |
| 1.1 適用基準 | 1 |
| 1.2 記号の説明 | 2 |
| 1.3 計算精度と数値の丸め方 | 3 |
| 1.4 形状・寸法・材料 | 3 |
| 1.5 解析範囲 | 3 |
| 1.6 計算結果の概要 | 3 |
| 2. 計算条件 | 6 |
| 2.1 設計条件 | 6 |
| 2.2 運転条件 | 6 |
| 2.3 材料 | 6 |
| 2.4 物性値 | 6 |
| 2.5 荷重の組合せ | 7 |
| 2.5.1 荷重の組合せ及び運転状態 | 7 |
| 2.5.2 荷重の組合せ及び応力評価 | 7 |
| 2.6 許容応力 | 7 |
| 2.7 応力の記号と方向 | 8 |
| 3. 応力解析の手順 | 9 |
| 3.1 温度分布計算 | 9 |
| 3.1.1 境界の熱伝達率 | 9 |
| 3.1.2 温度分布の計算 | 9 |
| 3.1.3 熱応力の計算時点 | 10 |
| 3.2 応力計算 | 10 |
| 3.2.1 応力評価点 | 10 |
| 3.2.2 内圧による応力 | 10 |
| 3.2.3 外荷重による応力 | 10 |
| 3.2.4 熱応力 | 11 |
| 4. 応力強さの評価 | 12 |
| 4.1 主応力 | 12 |
| 4.2 応力強さ | 12 |
| 4.3 一次一般膜応力強さの評価 | 12 |
| 4.4 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価 | 12 |
| 4.5 一次＋二次応力強さの評価 | 12 |

| | |
|----------------------|----|
| 5. 繰返し荷重の評価 | 13 |
| 5.1 疲労解析 | 13 |
| 5.1.1 考慮する運転条件 | 13 |
| 5.1.2 疲労累積係数 | 13 |
| 6. 特別な応力の評価 | 14 |
| 6.1 座屈に対する評価 | 14 |
| 6.1.1 計算データ | 14 |
| 6.1.2 荷重 | 14 |
| 6.1.3 圧縮応力 | 14 |
| 6.1.4 許容応力 | 15 |
| 6.1.5 座屈に対する評価 | 16 |
| 7. 引用文献 | 17 |
| 8. 参照図書 | 17 |

図 表 目 次
(原子炉圧力容器スカート)

| | | |
|------|---------------------|----|
| 図1-1 | 形状・寸法・材料・応力評価点 | 4 |
| 図3-1 | 応力解析の手順 | 18 |
| 図3-2 | 温度分布及び応力計算のモデル | 19 |
| 図3-3 | 温度遷移図 | 20 |
| 図3-4 | 温度分布図 | 26 |
| 図5-1 | 応力差の変動 | 42 |
| | | |
| 表1-1 | 表示する数値の丸め方 | 3 |
| 表1-2 | 計算結果の概要 | 5 |
| 表2-1 | 外荷重 | 43 |
| 表2-2 | 荷重の組合せ及び運転状態 | 44 |
| 表2-3 | 荷重の組合せ | 44 |
| 表2-4 | 許容応力 | 45 |
| 表2-5 | 許容応力評価条件 | 45 |
| 表3-1 | 熱伝達率の計算 | 46 |
| 表3-2 | 機器諸元 | 49 |
| 表3-3 | 応力集中係数 | 50 |
| 表4-1 | 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ | 51 |
| 表4-2 | 一次＋二次応力強さの評価のまとめ | 52 |
| 表5-1 | 疲労累積係数の評価のまとめ | 53 |
| 表6-1 | 座屈に対する評価に用いる荷重 | 54 |
| 表6-2 | 座屈に対する評価 | 54 |

1. 一般事項

本計算書は、原子炉压力容器スカート（以下「スカート」という。）の応力計算について示すものである。

スカートは、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」第88条第1項の規定により第13条第1項第1号及び第3号、第14条並びに第16条の規定を適用して解析する。

注：図表は、原則として巻末に示す。

1.1 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号（以下「告示第501号」）という。）

注：本書において、告示の条項は「告示第○条第△項第◇号」として示す。

1.2 記号の説明

本計算書において、以下の記号を使用する。ただし、別途記載ある場合は、この限りでない。

なお、記号の字体及び大きさについては、異なる場合がある。

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|-----------------|-----------------------------|-----------------|
| A | スカート断面積 | mm ² |
| H | 水平力 | N |
| M | モーメント | N・m |
| P _b | 一次曲げ応力 | MPa |
| P _L | 一次局部膜応力 | MPa |
| Q | 二次応力 | MPa |
| R _m | スカートの平均半径 | mm |
| S ₁₂ | 主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$ | MPa |
| S ₂₃ | 主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$ | MPa |
| S ₃₁ | 主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$ | MPa |
| S _m | 設計応力強さ 告示別表第2に定める値 | MPa |
| S _n | 運転状態Ⅰ及びⅡにおける一次＋二次応力の応力差最大範囲 | MPa |
| S _p | 一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲 | MPa |
| S _u | 設計引張強さ 告示別表第10に定める値 | MPa |
| S _y | 設計降伏点 告示別表第9に定める値 | MPa |
| t | スカートの板厚 | mm |
| U _n | 運転状態Ⅰ及びⅡにおける疲労累積係数 | — |
| V ₁ | スカート付根部下側より作用する鉛直力 | N |
| V ₂ | スカート付根部上側より作用する鉛直力 | N |
| Z | スカートの断面係数 | mm ³ |
| σ_1 | 主応力 | MPa |
| σ_2 | 主応力 | MPa |
| σ_3 | 主応力 | MPa |
| σ_ℓ | 軸方向応力 | MPa |
| σ_r | 半径方向応力 | MPa |
| σ_t | 周方向応力 | MPa |
| σ_c | スカートの圧縮応力 | MPa |
| σ_{ca} | スカートの圧縮応力に対する許容応力 | MPa |
| $\tau_{\ell r}$ | せん断応力 | MPa |
| τ_{rt} | せん断応力 | MPa |
| $\tau_{t\ell}$ | せん断応力 | MPa |

1.3 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-1に示すとおりとする。

表1-1 表示する数値の丸め方

| 数値の種類 | 単位 | 処理桁 | 処理方法 | 表示桁 |
|--------|-----|------------|------|------------|
| 縦弾性係数 | MPa | 有効数字 4 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 3 桁 |
| 算出応力 | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切上げ | 整数位 |
| 応力強さ | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切上げ | 整数位 |
| 許容応力* | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切捨て | 整数位 |
| 疲労累積係数 | — | 小数点以下第 4 位 | 切上げ | 小数点以下第 3 位 |
| 許容値 | — | — | — | 小数点以下第 1 位 |

注記*：告示別表に記載された温度の間における許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，比例法により補間した値の小数点以下第3位を切り捨て，小数点以下第2位までの値として算出する。得られた値をSI単位に換算し，SI単位に換算した値の小数点以下第1位を切り捨てて整数化する。

1.4 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.5 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

1.6 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-2に示す。

なお，応力評価点の選定に当たっては，形状不連続部，溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し，各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い，疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

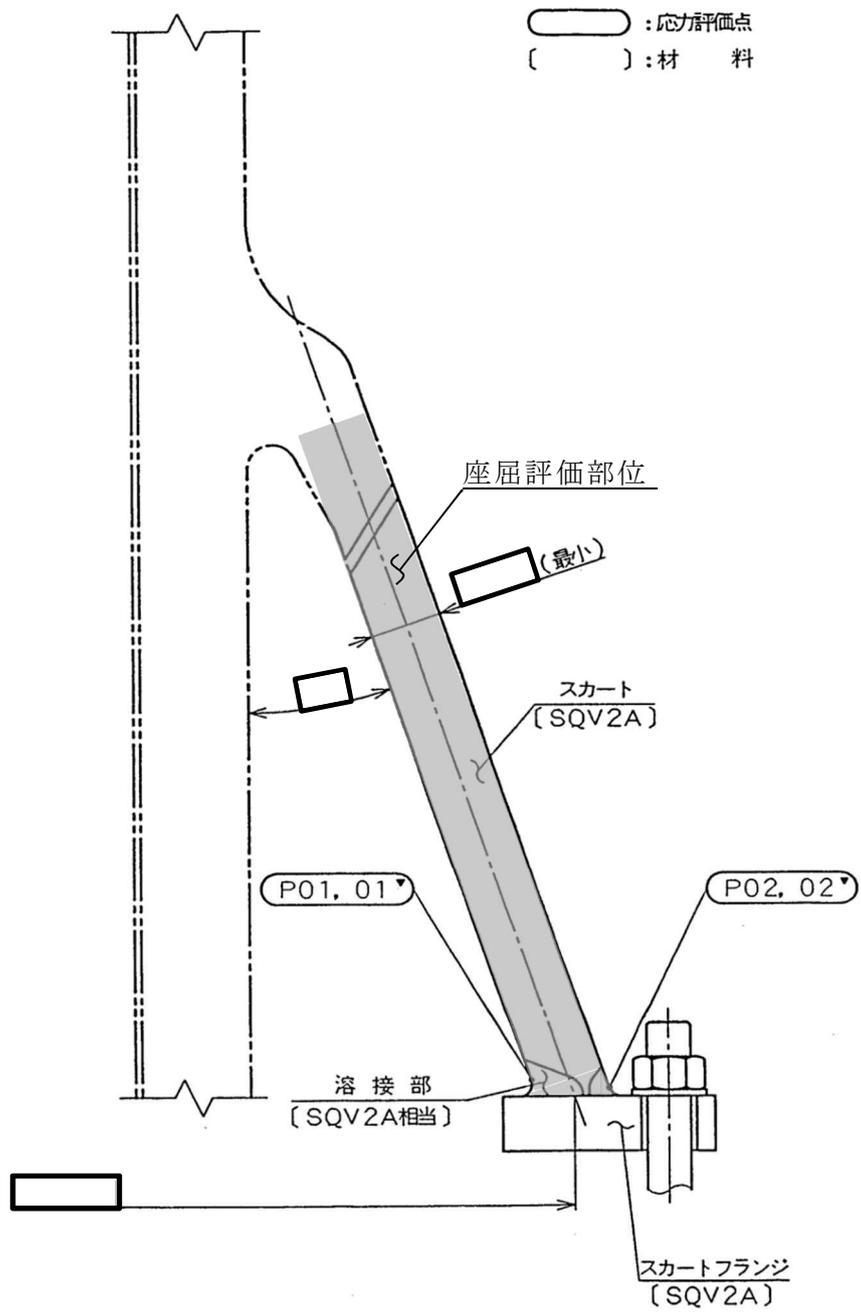


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-2(1) 計算結果の概要

| 部分及び材料 | 運転状態 | 一次一般膜応力強さ (MPa) | | | 一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa) | | | 一次+二次応力強さ (MPa) | | | 疲労解析 | | |
|---------------|-------|-----------------|------|-------|--------------------|------|-------------|-----------------|------|-------|--------|-----|-------|
| | | 応力強さ | 許容応力 | 応力評価面 | 応力強さ | 許容応力 | 応力評価面 | 応力強さ | 許容応力 | 応力評価点 | 疲労累積係数 | 許容値 | 応力評価点 |
| スカート SQV2A | 設計条件 | — | — | — | 26 | 276 | P01' - P02' | — | — | — | — | — | — |
| | Ⅲ | — | — | — | 11 | 436 | P01 - P02 | — | — | — | — | — | — |
| | Ⅳ | — | — | — | 18 | 490 | P01' - P02' | — | — | — | — | — | — |
| | 試験状態 | — | — | — | 11 | 457 | P01 - P02 | — | — | — | — | — | — |
| | I, II | — | — | — | — | — | — | 275 | 553 | P01 | 0.027 | 1.0 | P02 |

表1-2(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

| 部分及び材料 | 運転状態 | 座屈に対する評価 | |
|---------------|-------|----------|------|
| | | 圧縮応力 | 許容応力 |
| スカート SQV2A | I, II | 14 | 68 |
| | Ⅲ | 14 | 82 |
| | Ⅳ | 23 | 102 |

2. 計算条件

2.1 設計条件

最高使用圧力 : 8.62 MPa

最高使用温度 : 302 °C

設計機械的荷重 : 表2-1に示す。

2.2 運転条件

運転条件及び記号は、参照図書(1)a. に定めるとおりである。

スカートの応力評価において考慮する外荷重の値を表2-1に示す。

2.3 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.4 物性値

各部の材料の物性値は、参照図書(1)a. に定めるとおりである。



2.5 荷重の組合せ

2.5.1 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を表2-2に示す。

なお、本計算書において、告示第13条第1項第1号イの規定による最高使用圧力（運転状態Ⅰにおいて原子炉圧力容器内面が受ける最高の圧力以上の圧力であって、設計上定めるものをいう。）と設計機械的荷重を組み合わせた条件を「設計条件」という。

2.5.2 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価項目の対応を表2-3に示す。本計算書において、荷重の種類と記号は以下のとおりである。

| 荷重 | 記号 |
|-----------------------------------|----------------------|
| (1) 内圧 | [L01] |
| (2) 設計機械的荷重 | [L03] |
| (3) 熱負荷（温度分布計算で求めた温度分布に基づき算定する荷重） | [L10] |
| (4) 外荷重（運転状態Ⅰ及びⅡにおける荷重） | [L12, L13, L18, L19] |
| (5) 外荷重（運転状態Ⅲにおける荷重） | [L20] |
| (6) 外荷重（運転状態Ⅳにおける荷重） | [L21] |
| (7) 外荷重（試験状態における荷重） | [L22] |

2.6 許容応力

各運転状態の応力評価に用いる許容応力は、告示第13条第1項第1号に基づき表2-4に示す。

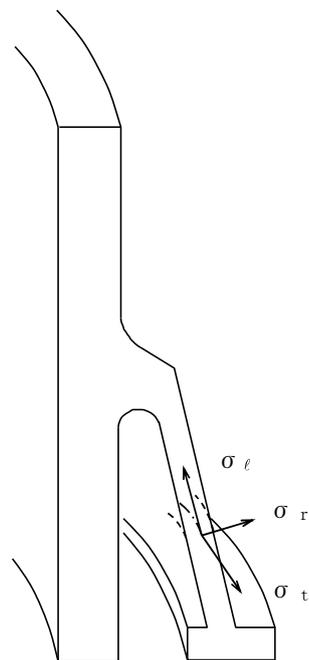
この表に記載のない圧縮荷重を受ける場合に対する許容応力は、6章に記載するものとする。

- (1) 設計応力強さ S_m 、設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u は、それぞれ告示別表第2、第9及び第10に定められたものを使用する。
- (2) 設計条件の評価には、最高使用温度（302℃）に対する許容応力を用いる。運転状態Ⅰ及びⅡ、運転状態Ⅲ並びに運転状態Ⅳの一次応力の評価には、各運転状態における流体の最高温度（運転状態Ⅰ及びⅡ：℃、Ⅲ：℃、Ⅳ：℃）に対する許容応力を用いる。運転状態Ⅰ及びⅡの一次＋二次応力及び繰返し荷重の評価には、運転温度 ℃：定格出力運転時の蒸気温度）に対する許容応力を用いる。試験状態の評価には、試験温度 ℃）に対する許容応力を用いる。
- (3) スカートの許容応力評価条件を表2-5に示す。

2.7 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は，以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- $\tau_{t\ell}$: せん断応力
- $\tau_{\ell r}$: せん断応力



3. 応力解析の手順

応力解析の手順について述べる。

解析手順の概要を図3-1に示す。

3.1 温度分布計算

3.1.1 境界の熱伝達率

温度分布計算に使用する原子炉压力容器内面、スカート外面及びスカートと胴板との間の熱伝達率の計算条件と計算結果を、温度及び流量の変化する時点を代表として表3-1に示す。

3.1.2 温度分布の計算

(1) 荷重条件

参照図書(1)a.に定める運転条件に基づいて計算する。

(2) 計算方法

温度分布計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、解析コード「HEAT」により行う。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

温度分布計算のモデルを図3-2に示す。また、機器の諸元について表3-2に示す。

境界における熱伝達率は、3.1.1項の計算結果を用いる。

境界3は、起動開始時及び停止終了時並びに耐圧試験は□℃、その他の事象は□℃一定の温度指定で温度分布計算を行う。

(3) 温度遷移図

温度分布計算を行った運転条件について、評価断面における熱応力が厳しくなる時点を検出するため、あらかじめ指定した数点の温度の時間的变化を図3-3に示す。

胴板及びスカート内に指定した2点間の温度差が極値となる時点を図3-3に記号で示す。なお、同図において、その差が極値をとった時点を熱応力が厳しくなるものとする。

(4) 温度分布図

(3)で選定した2点間の温度差が極値となる時点の温度分布を図3-4に示す。

3.1.3 熱応力の計算時点

熱応力計算は、3.1.2項(3)で選定した2点間の温度差が極値となる時点、圧力ピークとなる時点 及び定格出力運転 (計算時点を図3-3中に示す。)並びに耐圧試験 に対して行う。

3.2 応力計算

3.2.1 応力評価点

応力評価点の位置を図1-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数を表3-3に示す。

3.2.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

最高使用圧力 : 8.62 MPa (原子炉圧力容器)

各運転条件における内圧 : 参照図書(1)a. 参照

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、解析コード「STAX」により行う。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

解析においては、胴板との取り合い部で溶接されるため、胴板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、スカート下面を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図3-2に示す。また、機器の諸元について表3-2に示す。

3.2.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L03, L12, L13, L18, L19, L20, L21及びL22)

スカートに作用する外荷重を表2-1に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

解析においては、胴板との取り合い部で溶接されるため、胴板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、スカート下面を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図3-2に示す。また、機器の諸元について

表 3-2 に示す。

3.2.4 熱応力

(1) 荷重条件 (L10)

熱応力計算には、3.1節で求めた温度分布を用いる。

(2) 計算方法

熱応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、解析コード「STAX」により行う。

解析においては、胴板との取り合い部で溶接されるため、胴板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、スカート下面を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図 3-2 に示す。また、機器の諸元について表 3-2 に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 主応力

計算した応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求める。

組合せ応力は、一般に σ_t , σ_ℓ , σ_r , $\tau_{t\ell}$, $\tau_{\ell r}$, τ_{rt} の6成分を持つが、主応力 σ は、引用文献(1)の1・3・6項により、次式を満足する3根 σ_1 , σ_2 , σ_3 として計算する。

$$\begin{aligned} & \sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_\ell + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_\ell + \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{t\ell}^2 \\ & - \tau_{\ell r}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{\ell r}^2 + \sigma_\ell \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{t\ell}^2 \\ & - 2 \cdot \tau_{t\ell} \cdot \tau_{\ell r} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力を求める。

4.2 応力強さ

以下の3つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

4.3 一次一般膜応力強さの評価

応力評価面P01-P02及びP01'-P02'は構造不連続部であるため、一次一般膜応力に分類される応力は存在しない。

4.4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各運転状態における評価を表4-1に示す。

表4-1より、各運転状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、2.6節に示す許容応力を満足する。

4.5 一次+二次応力強さの評価

運転状態 I 及び II における評価を表4-2に示す。

表4-2より、すべての評価点において S_n は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、2.6節に示す許容応力を満足する。

5. 繰返し荷重の評価

5.1 疲労解析

スカートの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

5.1.1 考慮する運転条件

疲労解析に考慮する運転条件及び回数の組合せを図5-1に示す。

5.1.2 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表5-1に示す。

表5-1より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、許容値を満足する。

6. 特別な応力の評価

6.1 座屈に対する評価

スカートには、鉛直力及びモーメントにより、圧縮応力が生じる。したがって、これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

6.1.1 計算データ

スカートの平均半径 $R_m = \boxed{}$ mm

スカートの板厚 $t = \boxed{}$ mm (くされ代を除いた値)

スカートの断面積

$$\begin{aligned}
 A &= \pi \cdot \{(R_m + t/2)^2 - (R_m - t/2)^2\} \\
 &= \pi \times \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

スカートの断面係数

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(R_m + t/2)^4 - (R_m - t/2)^4}{R_m + t/2} \\
 &= \frac{\pi}{4} \times \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

6.1.2 荷重

各運転状態において、スカートに作用する鉛直力及びモーメントを表6-1に示す。

6.1.3 圧縮応力

表6-1に示す荷重によって生じる各運転状態での圧縮応力は以下のように求める。

(1) 運転状態 I 及び II

$$\begin{aligned}
 \sigma_c &= \frac{V_1 + V_2}{A} = \boxed{} \\
 &= 14 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(2) 運転状態 III

$$\begin{aligned}
 \sigma_c &= \frac{V_1 + V_2}{A} = \boxed{} \\
 &= 14 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(3) 運転状態Ⅳ

運転状態Ⅳにおける許容応力 $\sigma_{c a}$ は、告示第13条第1項第1号ヌ(ハ)より次のように得られる。

$$\sigma_{c a} = 1.5 \text{MIN}[S_m, B]$$

ここで、

$$S_m = 184.365 \text{ MPa}$$

$$B = 68.6466 \text{ MPa}$$

Cにおける値)

よって、許容応力 $\sigma_{c a}$ は、

$$\sigma_{c a} = 1.5 \cdot B = 1.5 \times 68.6466 = 102 \text{ MPa}$$

6.1.5 座屈に対する評価

各運転状態における座屈に対する評価を表6-2に示す。

表6-2より、各運転状態における圧縮応力は、許容応力を満足するため、座屈は発生しない。

7. 引用文献

文献番号は，本書において共通である。

- (1) 機械工学便覧 基礎編 α3 (日本機械学会)
- (2) 伝熱工学資料 (日本機械学会 改訂第4版)
- (3) WARREN H. GIEDT 「基礎伝熱工学」 横堀進，久我修共訳，丸善
- (4) March 1979 Revision of WRC Bulletin 107/August 1965 「Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings」

8. 参照図書

- (1) 柏崎刈羽原子力発電所第6号機 第5回工事計画認可申請書 添付書類
 - a. IV-3-1-2-1 原子炉圧力容器の応力解析の方針

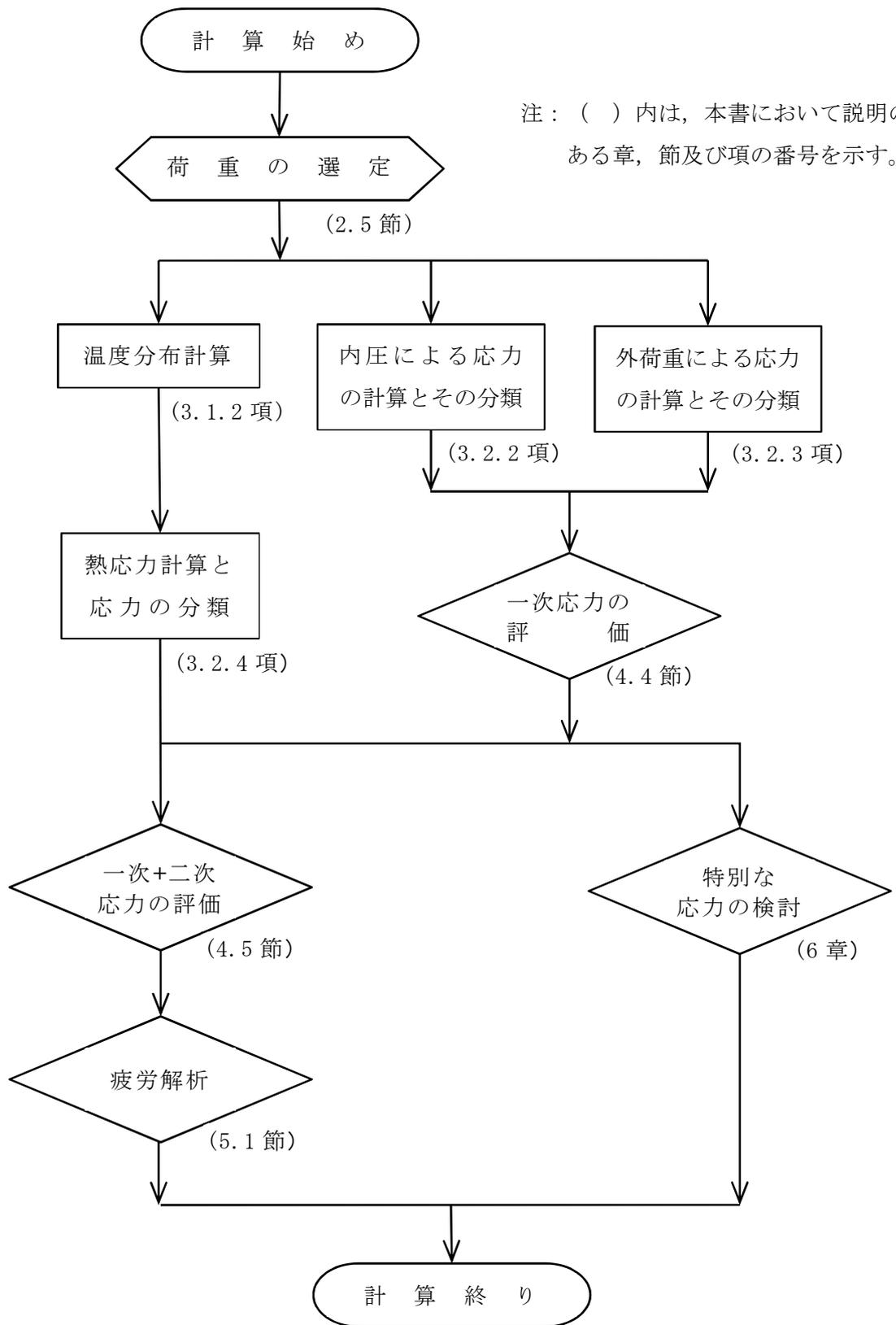


図 3-1 応力解析の手順

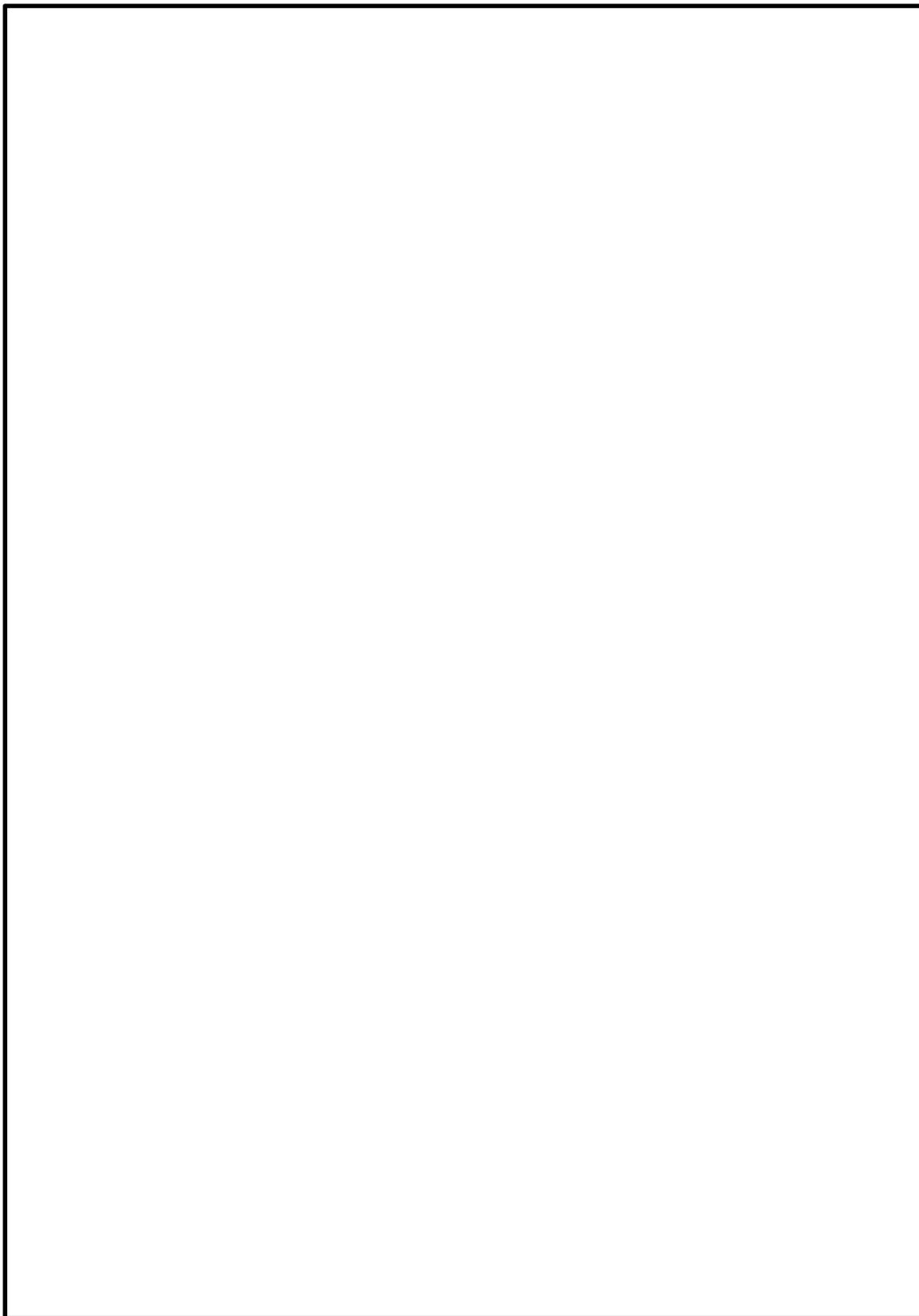


図 3-2 温度分布及び応力計算のモデル

20

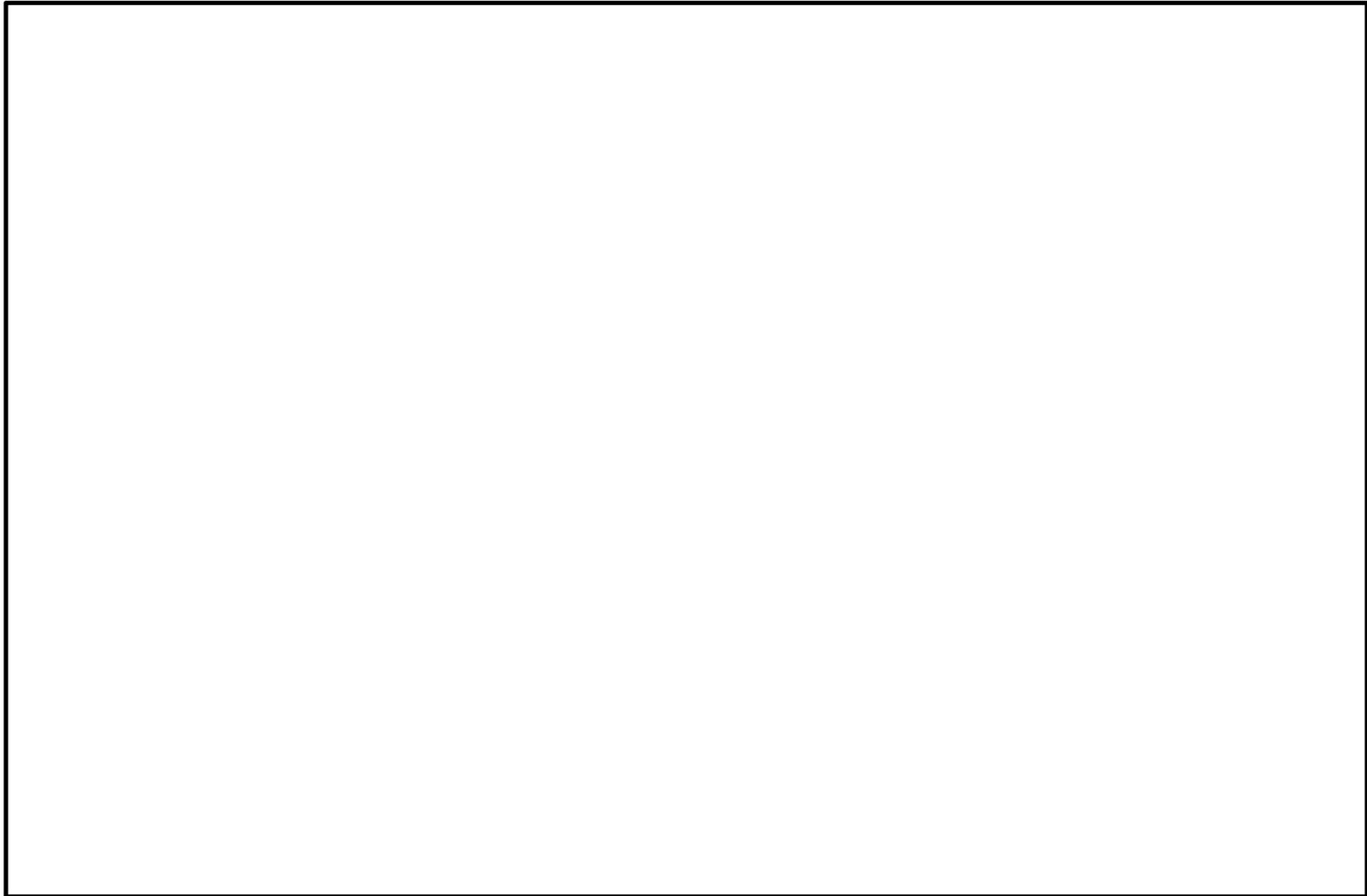


図 3-3(1) 温度遷移図 

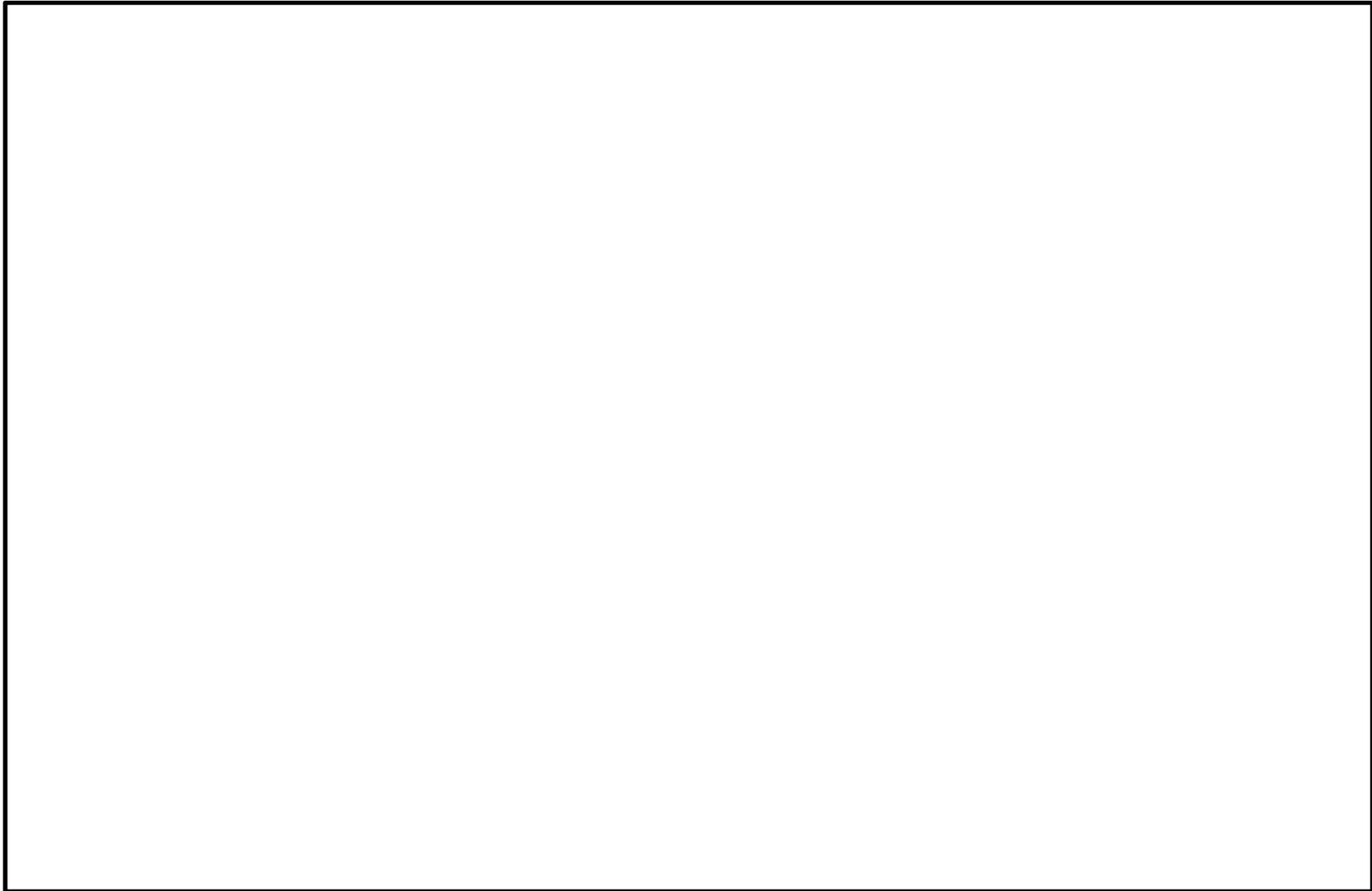


図 3-3(2) 温度遷移図 

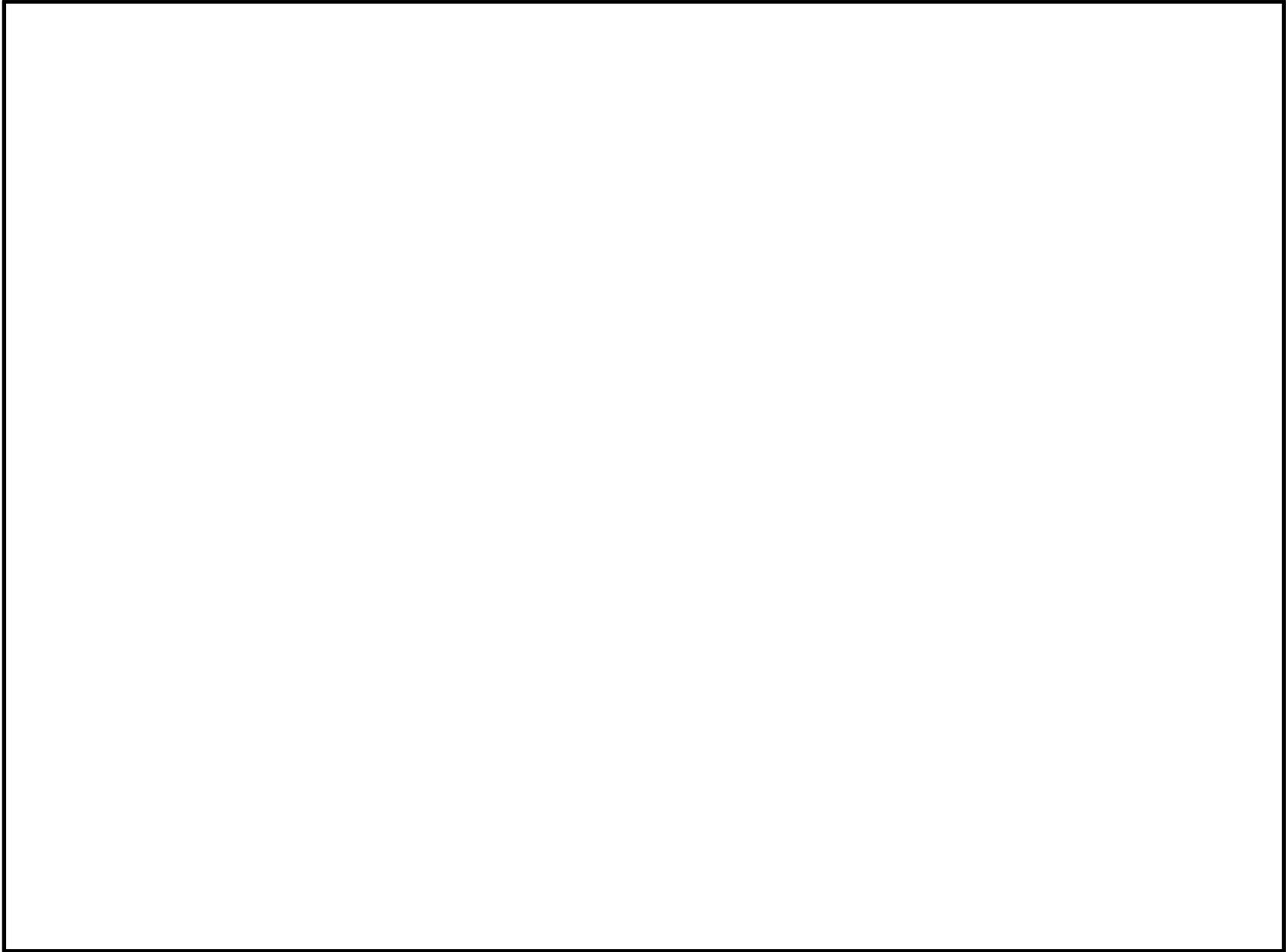


図 3-3(3) 温度遷移図 

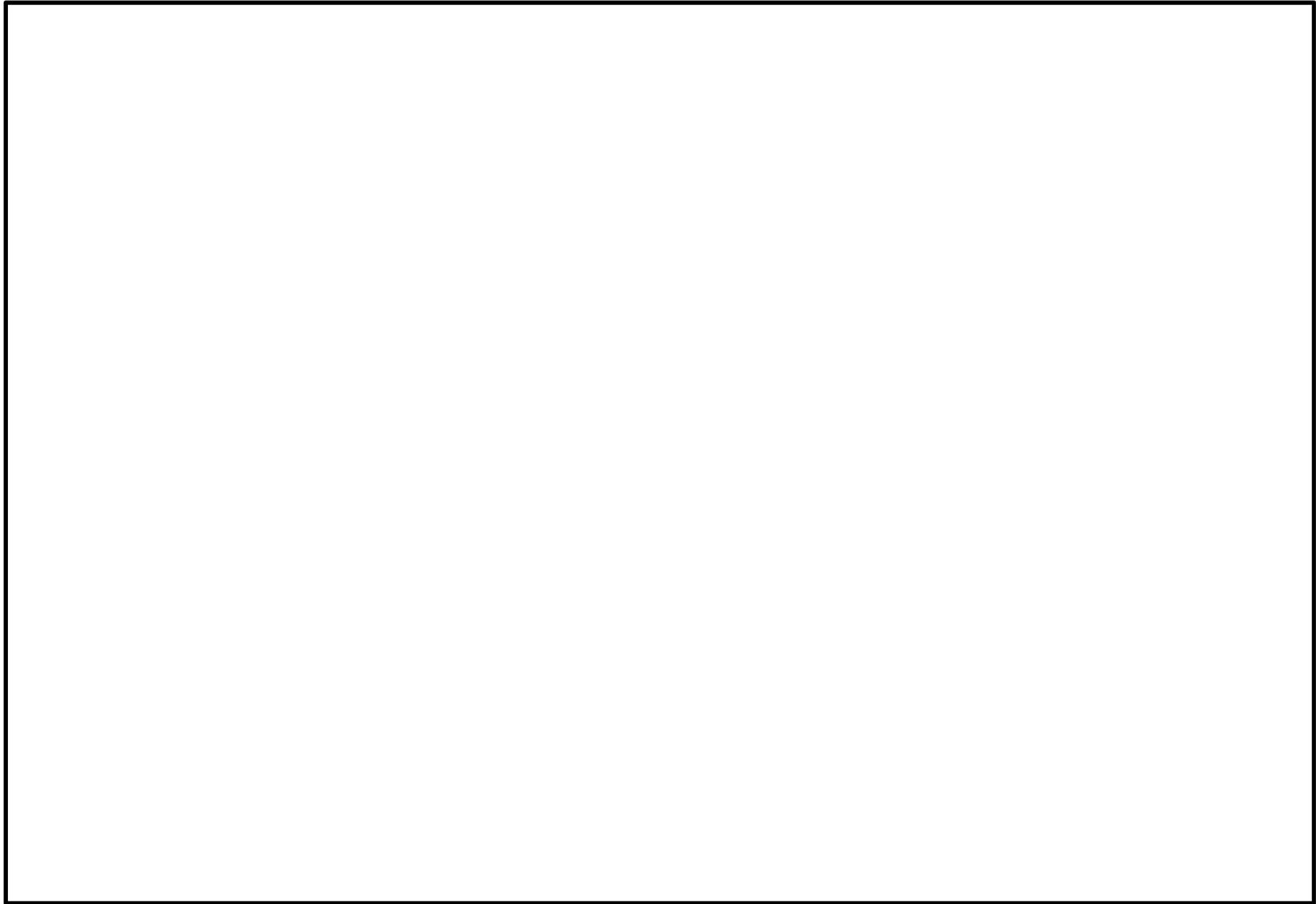


図 3-3(4) 温度遷移図

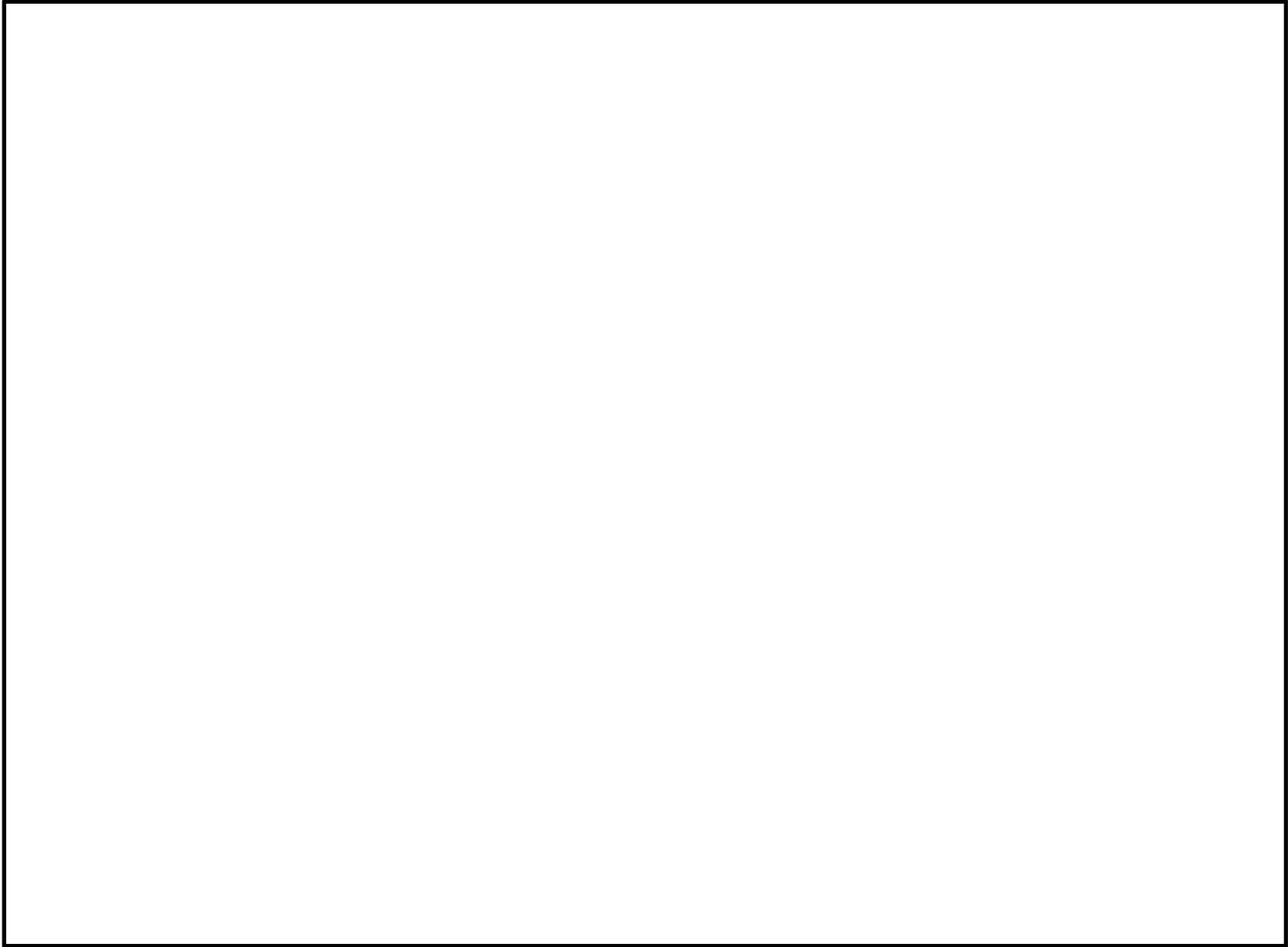


図 3-3(5) 温度遷移図 

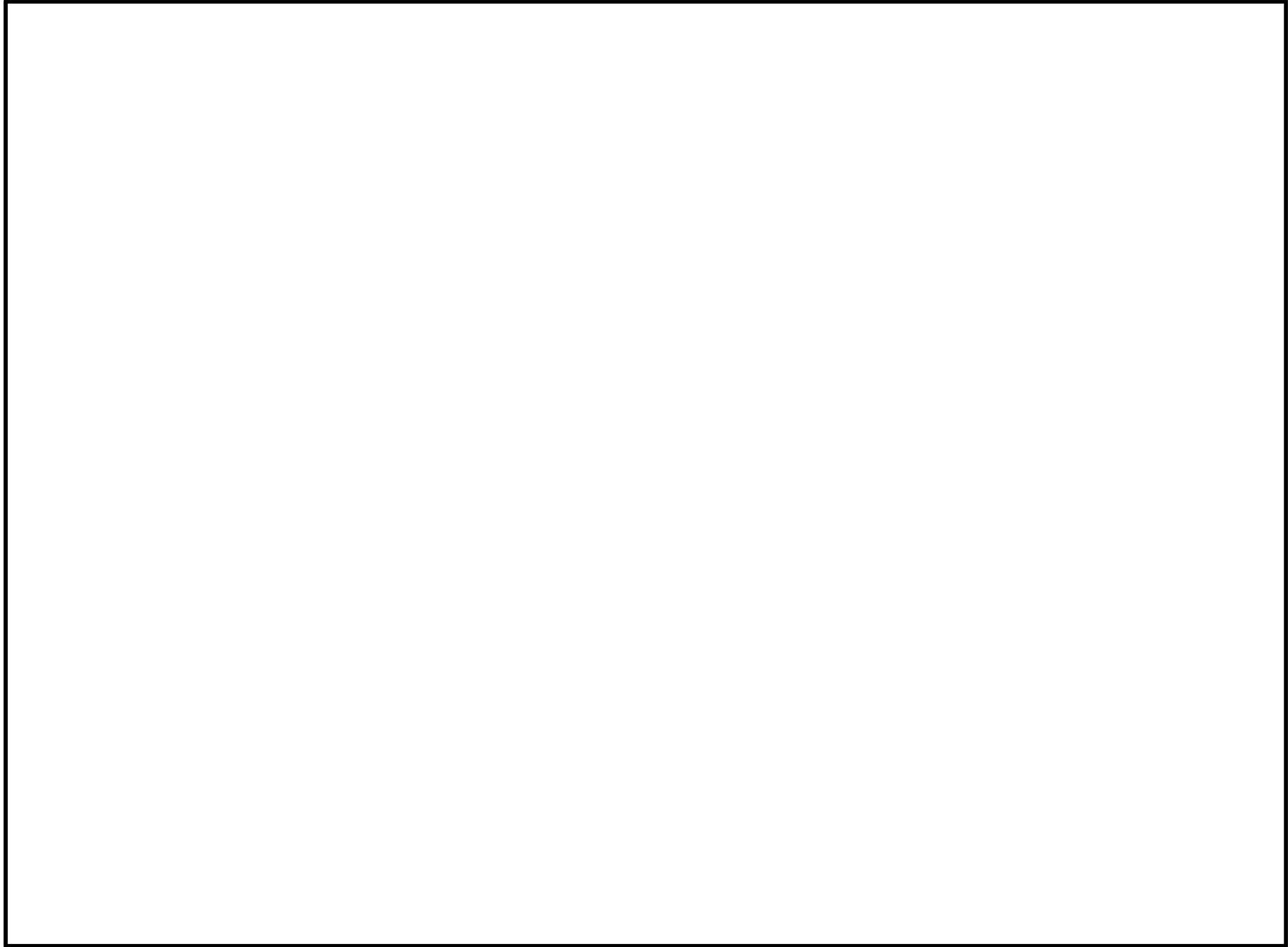


図 3-3(6) 温度遷移図 

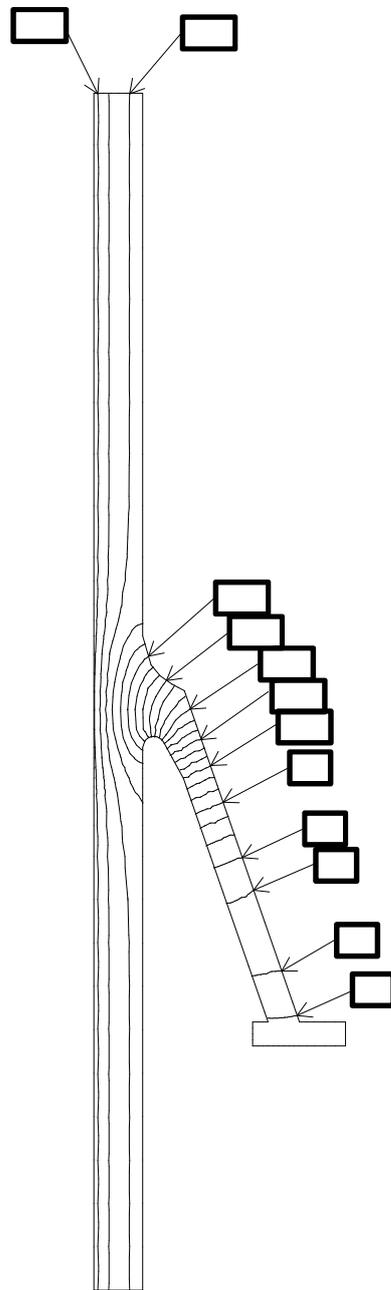


图 3-4(1) 温度分布图  (单位 : °C)

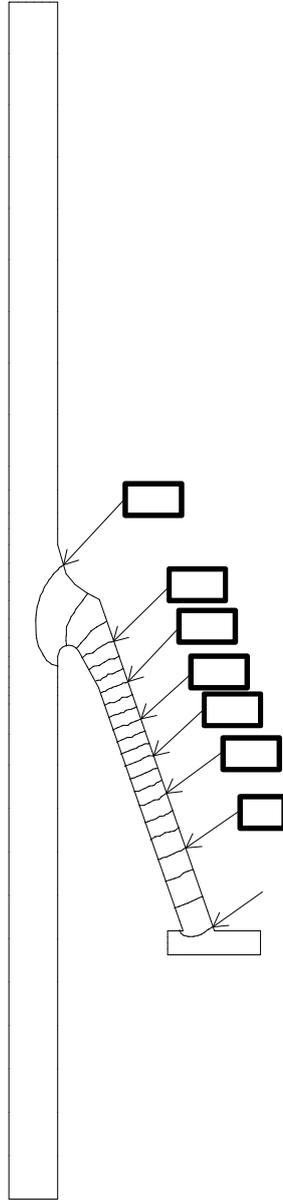


图 3-4(2) 温度分布图  (单位：°C)

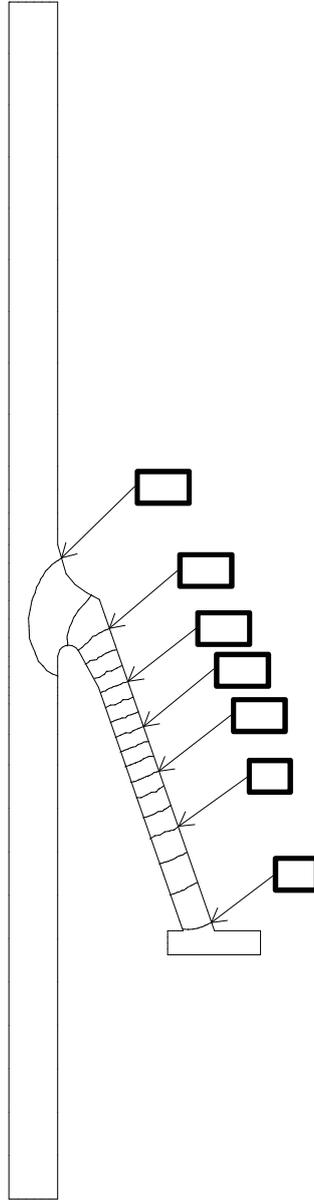


图 3-4(3) 温度分布图  (单位：°C)

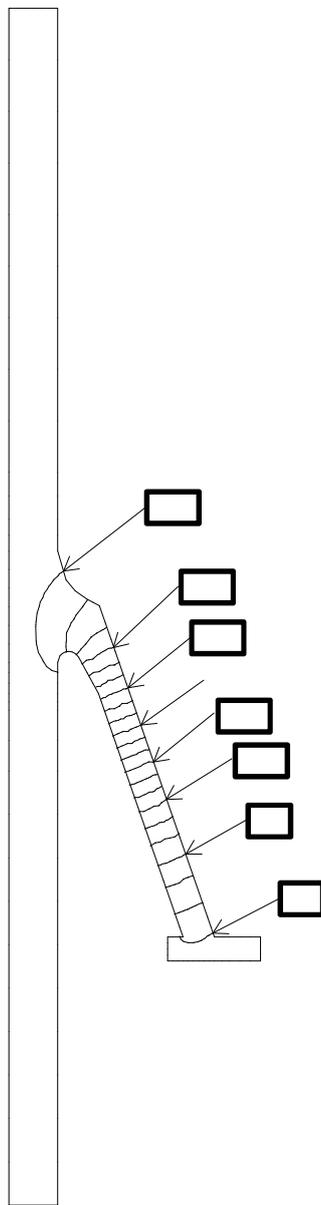


图 3-4(4) 温度分布图  (单位：℃)

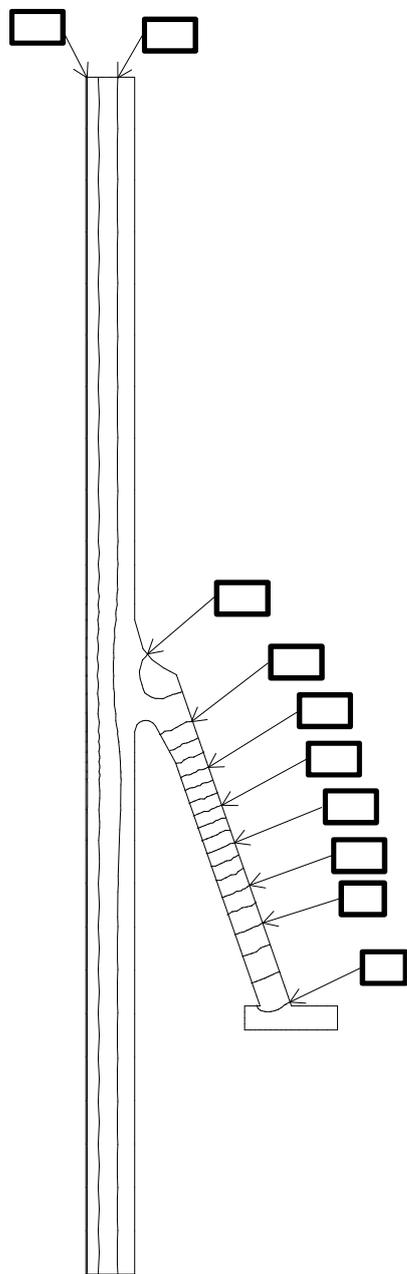


图 3-4(5) 温度分布图  (单位：℃)

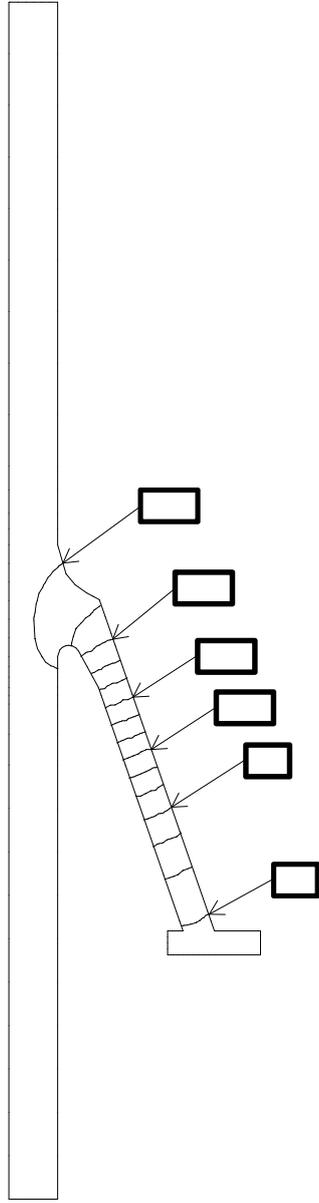


图 3-4(6) 温度分布图  (单位：℃)

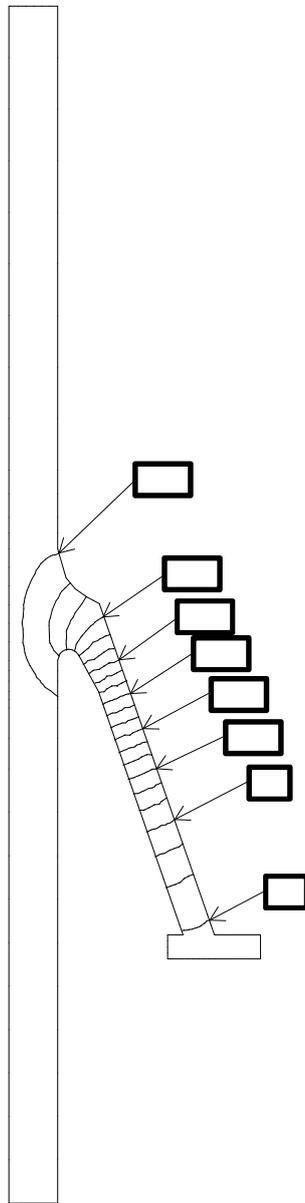


图 3-4(7) 温度分布图  (单位：℃)

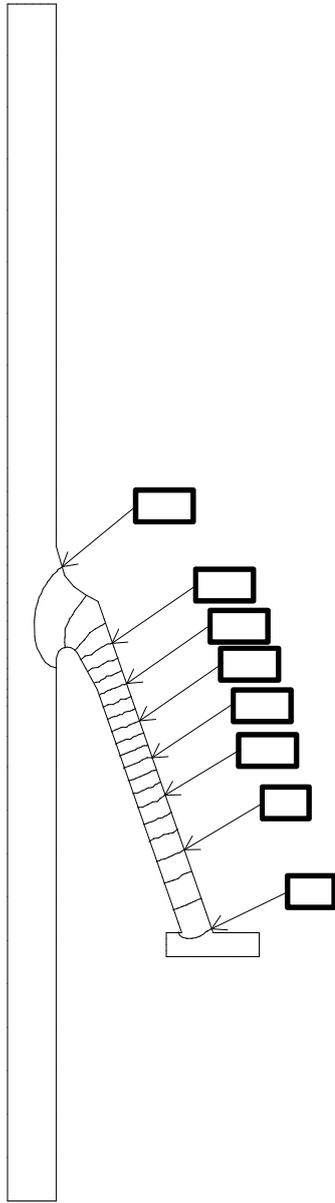


图 3-4(8) 温度分布图  (单位：℃)

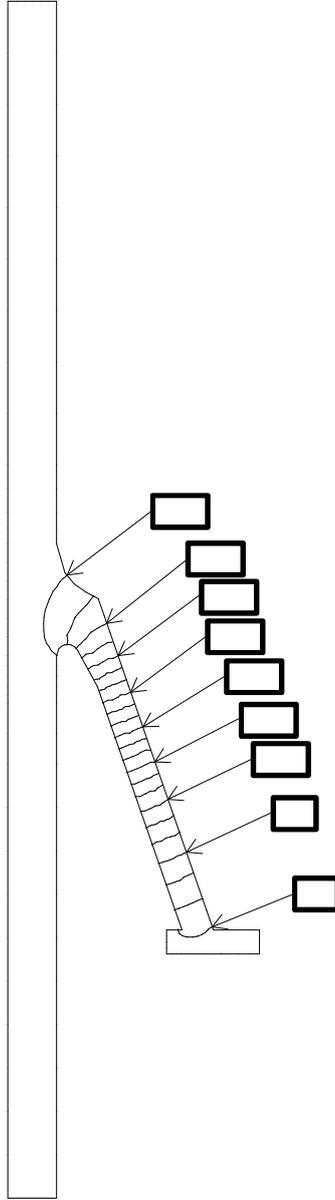


图 3-4(9) 温度分布图  (单位：℃)

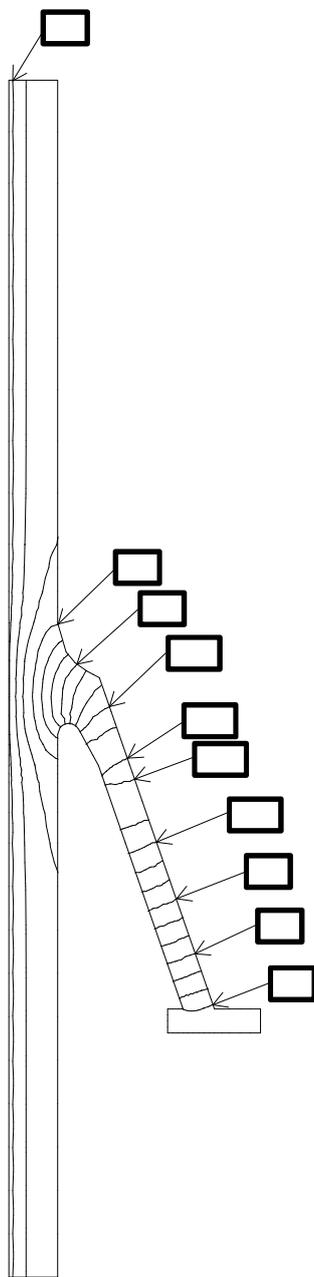


图 3-4(10) 温度分布图  (单位：℃)

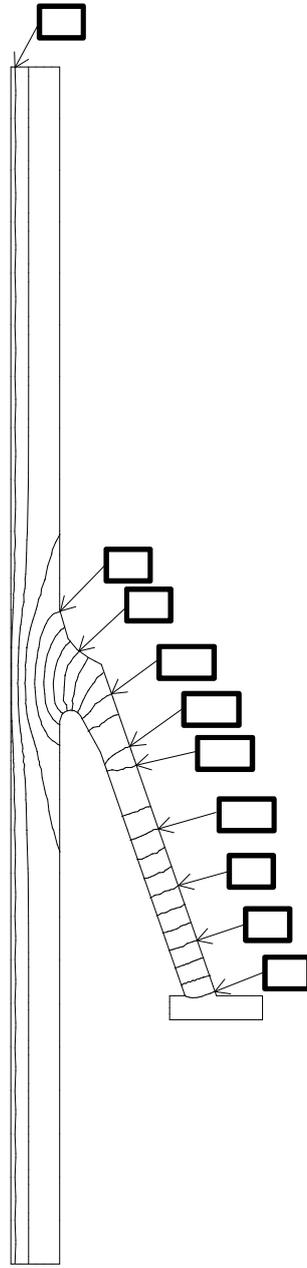


图 3-4(11) 温度分布图  (单位：℃)

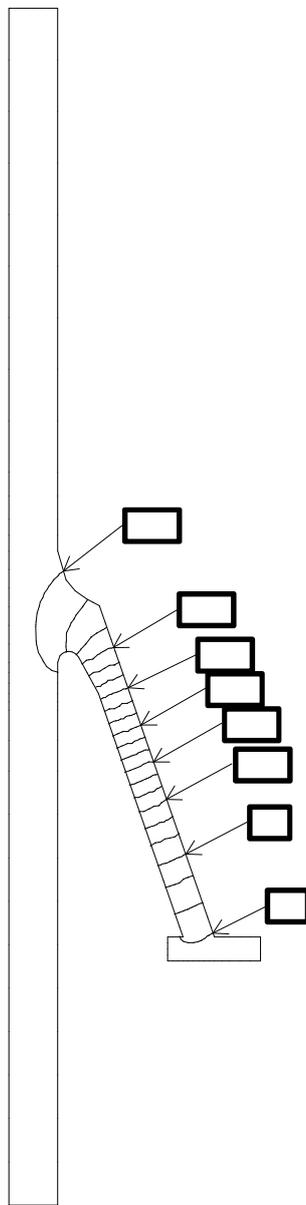


图 3-4(12) 温度分布图  (单位：℃)

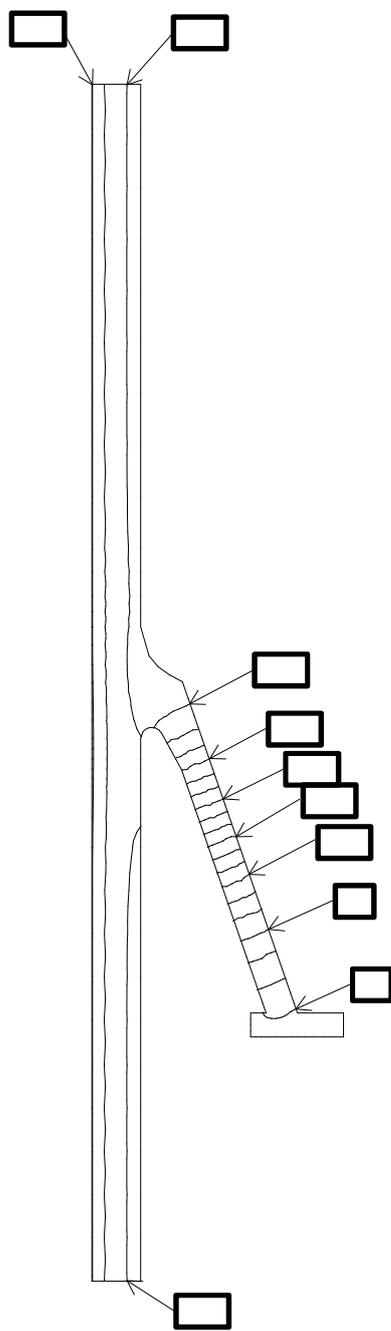


图 3-4(13) 温度分布图  (单位：℃)

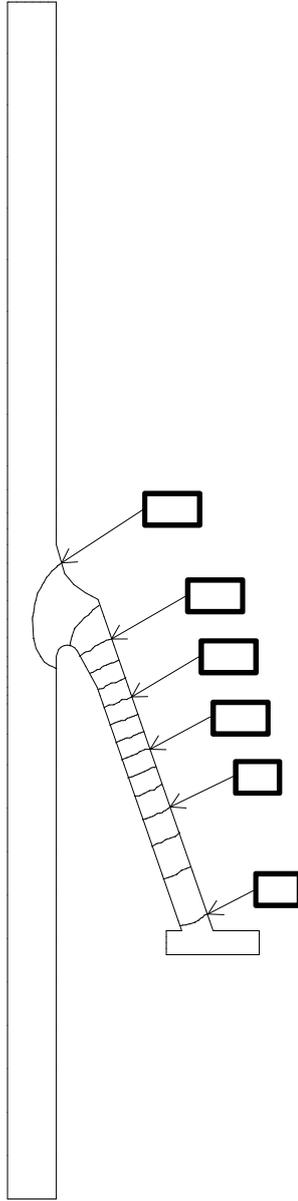


图 3-4(14) 温度分布图  (单位：℃)

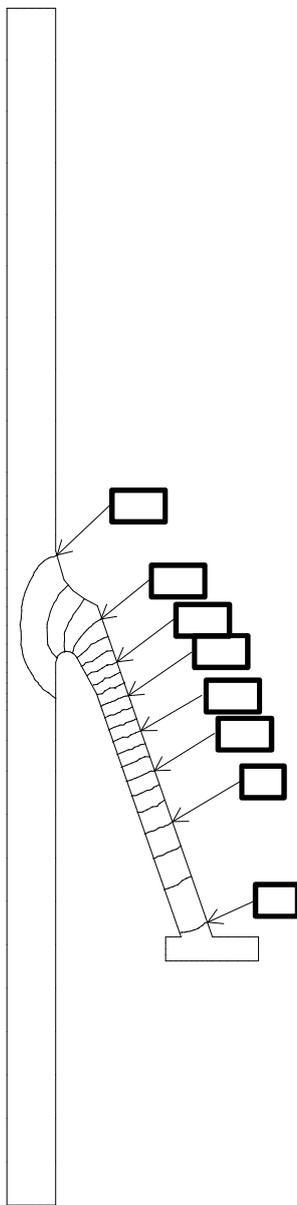


图 3-4(15) 温度分布图  (单位：℃)

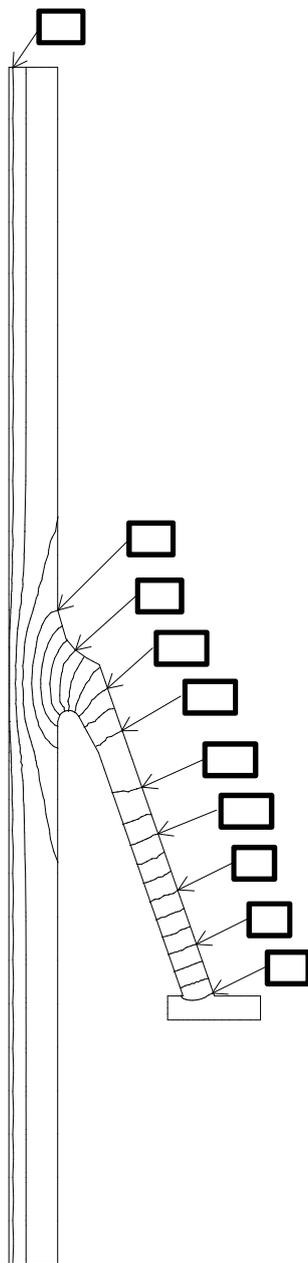
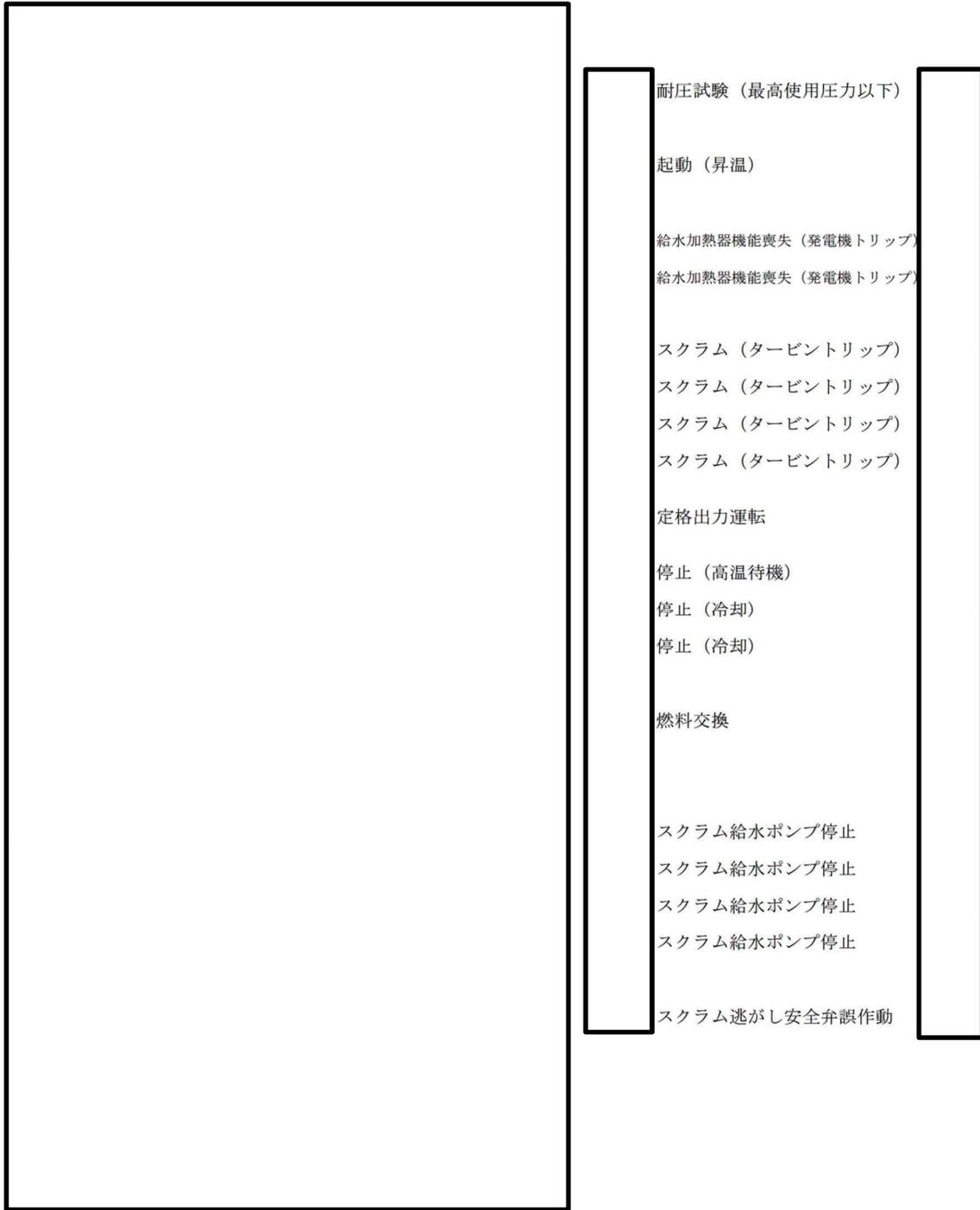


图 3-4(16) 温度分布图  (单位：℃)



耐圧試験（最高使用圧力以下）

起動（昇温）

給水加熱器機能喪失（発電機トリップ）

給水加熱器機能喪失（発電機トリップ）

スクラム（タービントリップ）

スクラム（タービントリップ）

スクラム（タービントリップ）

スクラム（タービントリップ）

定格出力運転

停止（高温待機）

停止（冷却）

停止（冷却）

燃料交換

スクラム給水ポンプ停止

スクラム給水ポンプ停止

スクラム給水ポンプ停止

スクラム給水ポンプ停止

スクラム逃がし安全弁誤作動

| NO | 運転条件 | 運転条件 | Sp |
|----|------|------|----|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |

図 5-1 応力差の変動 (P02, S₂₃)

表 2-1 外荷重

| 記号 | 荷重名称 | 鉛直力 | | 水平力 | モーメント |
|-----|----------------------|------------------------|------------------------|-----------|-------------|
| | | V ₁ (kN) | V ₂ (kN) | H (kN) | M (kN・m) |
| L03 | 設計機械的荷重 | | | | |
| L12 | 外荷重 A * ¹ | | | | |
| L13 | 外荷重 B * ² | | | | |
| L18 | 外荷重 C * ³ | | | | |
| L19 | 外荷重 D * ⁴ | | | | |
| L20 | 外荷重 E * ⁵ | | | | |
| L21 | 外荷重 F * ⁶ | | | | |
| L22 | 外荷重 G * ⁷ | | | | |

注 1 :

注 2 :

注 3 :

注記 *1 :

*2 :

*3 :

*4 :

*5 :

*6 :

*7 :

表2-2 荷重の組合せ及び運転状態

| 区分 | 荷重の組合せ |
|---------------------------|---------------------------------|
| | 各運転状態による荷重 |
| 設計条件 | 設計条件による荷重 |
| 運転状態 I, II, III, IV | 運転状態 I による荷重 |
| | 運転状態 II による荷重 |
| | 運転状態 III による荷重 |
| | 運転状態 IV (L) による荷重* ¹ |
| | 運転状態 IV (S) による荷重* ² |
| 試験状態 | 試験状態による荷重 |

注記*1 : 運転状態IV (L) による荷重とは、運転状態IVによる荷重のうち長期荷重を示す。

*2 : 運転状態IV (S) による荷重とは、運転状態IVによる荷重のうち短期荷重を示す。

表2-3 荷重の組合せ

| 条件 | 荷重の組合せ | 応力評価 |
|--------------|--------------------------------|-------------------------|
| 設計条件 | L01+L03 | $P_L + P_b$ |
| 運転状態 I 及び II | L01+ (L12, L13, L18又はL19) +L10 | $P_L + P_b + Q$ 疲労解析 |
| 運転状態 III | L01+L20 | $P_L + P_b$ |
| 運転状態 IV | L01+L21 | $P_L + P_b$ |
| 試験状態 | L01+L22 | $P_L + P_b$ |

表2-4 許容応力

| 運転状態 | 許容限界 | |
|-------|----------------------------------|---------------|
| | 一次膜+一次曲げ応力 | 一次+二次応力 |
| 設計条件 | $1.5 \cdot S_m$ | — |
| I, II | — | $3 \cdot S_m$ |
| III | $\text{MIN}[1.5 \cdot S_y, S_u]$ | — |
| IV | S_u | — |
| 試験状態 | $1.35 \cdot S_y$ | — |

表2-5 許容応力評価条件

| 評価部位 | 材料 | | 温度条件 (°C) | S_m | S_y | S_u |
|------|-------------|-------|--|-------|-------|-------|
| | | | | (MPa) | (MPa) | (MPa) |
| スカート | フェライト 系鋼 | SQV2A | 試験温度 | | | |
| | | | 流体の最高温度 (運転状態IV) 及 び定格出力運転時 の蒸気温度 | | | |
| | | | 最高使用温度 | 302 | 184 | — |
| | | | 流体の最高温度 (運転状態III) | | | |

表 3-1(1) 熱伝達率の計算



| 物 性 グループ | 温度 Tf (°C) | 流量 Q (%) | 熱伝導率 λ (W/m·K) | プラントル数 Pr (-) | レイノルズ数 Re (-) | 熱伝達率 h (W/m ² ·K) |
|-------------|------------------|----------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| 水 | | | | | | |

注 1 : 熱伝達率は、引用文献(2)の P47 の(16)式に示す下記の式を用いて計算する。

$$h = 0.037 \cdot Pr^{2/3} \cdot Re^{4/5} \cdot \frac{\lambda}{L}$$

ここで、 $Re = v \cdot L / \nu_0$

v : 流速 (m/s)

ν_0 : 動粘性係数 (m²/s)

注 2 : 100%流量 =

注 3 : 流路断面積 = m² (胴板とシュラウドヘッドフランジ間の断面積)

注 4 : 代表長さ L = m

表 3-1(2) 熱伝達率の計算



| 物 性 グループ | 温度 Tf (°C) | 流量 Q (%) | 熱伝導率 λ (W/m・K) | プラントル数 Pr (-) | レイノルズ数 Re (-) | 熱伝達率 h (W/m ² ・K) |
|-------------|------------------|----------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| 空気 | | | | | | |

注 1 : 熱伝達率は、引用文献(2)の P46 の(8)式に示す下記の式を用いて計算する。

$$h = 0.664 \cdot P r^{1/3} \cdot R e^{1/2} \cdot \frac{\lambda}{L}$$

ここで、 $R e = v \cdot L / \nu_0$

v : 流速 (m/s)

ν_0 : 動粘性係数 (m²/s)

注 2 : 100%流量 = m³/h

注 3 : 流路断面積 = m² (空調ダクト出口総断面積)

注 4 : 代表長さ L = m

表 3-1(3) 熱伝達率の計算



| 物 性 グループ | 温度 T _m (K) | 熱伝導率 λ (W/m・K) | エアギャップの 距離 ℓ (m) | 形態係数 F (-) | 対面金属のふく 射率 ε ₁ , ε ₂ (-) | 熱伝達率 h (W/m ² ・K) |
|-------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------|------------------|---|------------------------------------|
| 空気 | | | | | | |

注：熱伝達率は、引用文献(2)及び引用文献(3)に示す下記の式を用いて計算する。

$$h = \frac{\lambda}{\ell} + \frac{4 \cdot \sigma \cdot T_m^3}{\frac{1}{F} + \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1\right) + \frac{A_1}{A_2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)}$$

ここで、A₁ : 胴板側エアギャップ範囲の表面積(m²)

A₂ : スカート側エアギャップ範囲の表面積(m²)

F : 形態係数

ℓ : エアギャップの距離(m)

T_m : 対面金属表面温度の平均温度(K)

ε₁ : 対面金属のふく射率

ε₂ : 対面金属のふく射率

λ : 空気の熱伝導率(W/(m・K))

σ : ステファンボルツマン定数 (= 5.67×10⁻⁸ W/(m²・K⁴))

A₁ = A₂とする。

表 3-2 機器諸元

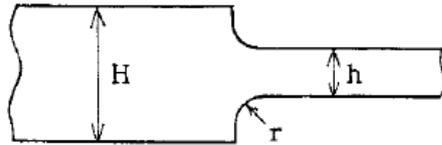
| 項目 | | 記号 | 単位 | 入力値 | | |
|---------------------|-------|-----------|-------------------|-------|--|--|
| 材質 | | — | — | SQV2A | | |
| 熱伝導率 | SQV2A | λ | W/m・°C | | | |
| | | | | | | |
| 温度伝導率 | | a | m ² /s | | | |
| | | | | | | |
| 縦弾性係数 | | E | MPa | | | |
| | | | | | | |
| 熱膨張係数 ^{*1} | | α | mm/mm・°C | | | |
| | | | | | | |
| ポアソン比 | | ν | — | | | |
| 要素数 | | — | — | | | |
| 節点数 | | — | — | | | |

注記*1 : 20°Cより表記の温度までの平均熱膨張係数。

表 3-3 応力集中係数

| 応力評価点 | データ | | | K _n (引張り) | K _b (曲げ) |
|-----------|--------|--------|--------|-------------------------|------------------------|
| | T (mm) | t (mm) | r (mm) | | |
| P01, P01' | | | | 2.0 | 1.7 |
| P02, P02' | | | | 2.1 | 1.7 |

注：応力集中係数は、引用文献(4)の Appendix B に示す下記の式を用いて計算する。



$$K_n = 1 + \left\{ \frac{\frac{H}{h} - 1}{4 \cdot \left(1.4 \cdot \frac{H}{h} - 1\right)} \cdot \frac{h}{r} \right\}^{0.65}$$

$$K_b = 1 + \left\{ \frac{\frac{H}{h} - 1}{2 \cdot \left(5.37 \cdot \frac{H}{h} - 4.8\right)} \cdot \frac{h}{r} \right\}^{0.85}$$

ここで、K_b : 曲げに対する応力集中係数

K_n : 引張りに対する応力集中係数

r : 隅部の半径

T : 大きい方の板厚 (= H/2)

t : 小さい方の板厚 (= h/2)

表 4-1 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

| 応力評価面 | 設計条件 | | 運転状態Ⅲ | | 運転状態Ⅳ | | 試験状態 | |
|--------------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| | 応力強さ | 許容応力 | 応力強さ | 許容応力 | 応力強さ | 許容応力 | 応力強さ | 許容応力 |
| P01 P02 | 11 | 276 | 11 | 436 | 6 | 490 | 11 | 457 |
| P01' P02' | 26 | 276 | 11 | 436 | 18 | 490 | 11 | 457 |

表 4-2 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

| 応力評価点 | 一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$) | |
|-------|-------------------------------------|-----------------------|
| | S_n | 許容応力 $3 \cdot S_m$ |
| P01 | 275 | 553 |
| P01' | 275 | 553 |
| P02 | 275 | 553 |
| P02' | 275 | 553 |

表 5-1 疲労累積係数の評価のまとめ

| 応力評価点 | 疲労累積係数 | |
|-------|--------|-----|
| | U_n | 許容値 |
| P01 | 0.024 | 1.0 |
| P01' | 0.024 | 1.0 |
| P02 | 0.027 | 1.0 |
| P02' | 0.027 | 1.0 |

表 6-1 座屈に対する評価に用いる荷重

| 運転状態 | 鉛直力 | | モーメント M (kN・m) |
|-------|---------------------|---------------------|-------------------|
| | V ₁ (kN) | V ₂ (kN) | |
| I, II | | | — |
| III | | | — |
| IV | | | |

表 6-2 座屈に対する評価

(単位 : MPa)

| 運転状態 | 圧縮応力 | 許容応力 |
|-------|------|------|
| I, II | 14 | 68 |
| III | 14 | 82 |
| IV | 23 | 102 |

計算機プログラム（解析コード）の概要

目 次

| | |
|----------------------------|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 別紙1 MSAP (配管) | 2 |
| 別紙2 NuPIAS | 6 |
| 別紙3 ISAP | 9 |
| 別紙4 SOLVER | 13 |
| 別紙5 ANSYS | 16 |
| 別紙6 MSC NASTRAN | 19 |
| 別紙7 ABAQUS | 27 |
| 別紙8 LS-DYNA | 33 |
| 別紙9 f a p p a s e | 40 |
| 別紙10 NOVAK | 43 |
| 別紙11 SHAKE | 46 |
| 別紙12 ADMITHF | 51 |
| 別紙13 NUPP4 | 54 |
| 別紙14 Super Build/SS3 | 59 |
| 別紙15 ASHSD | 62 |
| 別紙16 HEAT | 65 |
| 別紙17 STAX | 68 |

1. はじめに

本資料は、添付書類VI-3「強度に関する説明書」において使用した計算機プログラム（解析コード）について説明するものである。

「強度に関する説明書」において使用した解析コードの使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

別紙1 MSAP (配管)

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|------------------|---------|----------------------|
| VI-3-3-2-2-1-4-2 | 管の応力計算書 | <input type="text"/> |

2. 解析コードの概要

| 項目 | コード名 MSAP (配管) |
|--|---|
| 使用目的 | 3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析，構造解析及び応力算出 |
| 開発機関 | 三菱重工株式会社 |
| 開発時期 | [] |
| 使用したバージョン | [] |
| コードの概要 | <p>強度及び耐震計算で使用している解析コードMSAP (配管) []</p> <p>[]</p> <p>[]</p> <p>[] がある。</p> <p>対話方式による入力及び構造解析の出力データを基に規格基準の算出式に従った評価が可能である。</p> <p>[]</p> <p>[]</p> |
| <p>検証 (Verification)</p> <p>及び</p> <p>妥当性確認 (Validation)</p> | <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> • [] について，開発元より発行されている例題集の中で，モデル要素ごとに静的及び動的解析の例題に対して，解析結果と理論モデルによる理論解または他の計算プログラムでの計算結果と概ね一致していることを確認している。また，サンプルモデルに対する固有値解析結果が，手計算と一致することを確認している。 • 対話方式により入力されたデータはインプットファイルとして出力され，入力データと一致していることを確認している。 • 入力データが正しく構造解析に受け渡されていること，構造解析データが正しく規格計算に受け渡されていることをそれぞれ確認している。 • 構造解析結果として出力されたデータを規格基準に従い，発生応力，疲労累積係数を算出しており，その過 |

| | |
|--|--|
| | <p>はりモデルを用いてモデル化している。</p> <ul style="list-style-type: none">・今回の設計及び工事計画認可申請で行う3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析，構造解析，応力算出の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。 |
|--|--|

別紙2 NuPIAS

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|--------------------|---------|------------|
| VI-3-3-2-2-2-4-2 | 管の応力計算書 | Ver. 7.2.0 |
| VI-3-3-6-2-7-1-4-2 | 管の応力計算書 | Ver. 7.2.0 |

2. 解析コードの概要

| 項目 \ コード名 | N u P I A S |
|---|---|
| 使用目的 | 3次元有限要素法（はりモデル）による管の固有値解析，応力解析 |
| 開発機関 | 東電設計株式会社，川崎重工業株式会社 |
| 開発時期 | 2000年 |
| 使用したバージョン | Ver. 7.2.0 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは，配管の強度解析を目的として開発された計算機プログラムである。本解析コードは，汎用構造解析コードSAP-Vをメインプログラムとし，応力評価プログラム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログラムから成る。</p> <p>任意の1次元，2次元あるいは3次元形状に対し，静的解析，動的解析を行うことが可能で，反力・モーメント・応力，固有値・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p> |
| 検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation） | <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・配管系応力解析プログラム *1の計算データと本解析コードによる計算結果を比較し，よく合致していることを確認している。 ・応力評価プログラムについては，メインプログラムの出力結果（軸力，モーメント）から，適用技術基準（J S M E *2，J E A G *3等）に基づいて応力評価が正しく計算されていることを確認している。 ・サブプログラムについては，インターフェイスチェックシートを用いて，単位，桁数，符号が変換前後で正しく処理されていることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており，十分な実績があるため信頼性 |

| | |
|--|--|
| | <p>がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・今回の設計及び工事計画認可申請で行うはりモデルによる管の応力解析の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認範囲にあることを確認している。 |
|--|--|

注記*1 :



*2 : 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」

*3 : 原子力発電所耐震設計技術指針

別紙3 I S A P

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|--------------------|--------------------------|---------|
| VI-3-3-2-2-2-4-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-1-1-3-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-1-2-1-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-2-1-3 | 残留熱除去系ストレーナの強度計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-2-1-4 | 残留熱除去系ストレーナ部ティーの強度計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-2-1-6-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-3-1-2 | 高圧炉心注水系ストレーナの強度計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-3-1-3 | 高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの強度計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-3-1-5-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-3-2-2 | 原子炉隔離時冷却系ストレーナの強度計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-3-2-3 | 原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの強度計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-3-2-5-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-3-3-2-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-3-4-1-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-3-5-2-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-4-1-3-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-5-1-6-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-5-2-5-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-3-6-1-2-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-4-2-1-4-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-4-3-1-1-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-6-2-4-1-1-2 | ドライウェルスプレイ管の強度計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-6-2-4-1-1-3 | サブプレッションチェンバスプレイ管の強度計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-6-2-4-2-1-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-6-2-4-4-1-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-6-2-5-1-2-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-6-2-5-2-1-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-6-2-5-3-1-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |

| | | |
|--------------------|---------|---------|
| VI-3-3-6-2-6-1-2-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |
| VI-3-3-6-2-7-1-4-2 | 管の応力計算書 | ISAP-IV |

2. 解析コードの概要

| 項目 \ コード名 | I S A P |
|---|---|
| 使用目的 | 3次元有限要素法（はり要素）による応力解析 |
| 開発機関 | 株式会社 I H I |
| 開発時期 | 1988年 |
| 使用したバージョン | ISAP-IV |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、配管系の静的及び動的解析のメインプログラムである「SAP-V」を基につくられている。「SAP」は、米カリフォルニア大学にて開発された計算機プログラムである。</p> <p>任意の3次元形状に対して、有限要素法により静的解析、動的解析を行い、反力・モーメント・応力、固有周期・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>本解析コードは、原子力の配管設計において、多くの実績を有している。</p> |
| 検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation) | <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管解析プログラムの一つである解析コード <div style="border: 1px solid black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 15px; width: 100%;"></div> <p>による解析結果を比較し、結果が合致することを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョン |

| | |
|--|---|
| | <p>は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none">・今回の設計及び工事計画認可申請で行うはり要素の固有値解析，応力解析の使用目的に照らして，用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲であることを確認している。・開発機関が提示するマニュアルにより，今回の設計及び工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 |
|--|---|

別紙4 SOLVER

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|--------------------|-----------------------|-----------|
| VI-3-3-3-1-1-3-2 | 管の応力計算書 | Rev 02.05 |
| VI-3-3-3-5-1-6-2 | 管の応力計算書 | Rev 02.05 |
| VI-3-3-4-3-1-1-2 | 管の応力計算書 | Rev 02.05 |
| VI-3-3-4-3-2-2-2 | 管の応力計算書 | Rev 02.05 |
| VI-3-3-6-2-5-1-2-2 | 管の応力計算書 | Rev 02.05 |
| VI-3-3-6-2-7-1-4-2 | 管の応力計算書 | Rev 02.05 |
| VI-3-3-6-4-3 | 管の応力計算書 (格納容器圧力逃がし装置) | Rev 02.05 |

2. 解析コードの概要

| 項目 \ コード名 | S O L V E R |
|---|--|
| 使用目的 | 3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析 |
| 開発機関 | 株式会社 東芝 |
| 開発時期 | 1988年 |
| 使用したバージョン | Rev 02.05 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは，構造物の静的及び動的解析のメインプログラムである「S A P」を基に作られている。「S A P」は，米カリフォルニア大学にて開発された計算機プログラムである。</p> <p>任意の3次元形状に対し，有限要素法により静的解析，動的解析を行い，反力・モーメント・応力，固有振動数・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>本解析コードは，原子力の配管設計において，多くの実績を有している。</p> |
| 検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation） | <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管解析プログラムの一つである解析コード <div style="border: 1px solid black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 15px; width: 70%; display: inline-block;"></div> による解析結果を比較し，結果が合致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており，十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョン |

| | |
|--|--|
| | <p>は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none">・今回の設計及び工事計画認可申請で行うはりモデルの固有値解析，地震応答解析及び応力解析の使用目的に照らして，用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲であることを確認している。・開発機関が提示するマニュアルにより，今回の設計及び工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 |
|--|--|

別紙5 ANSYS

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|----------------|-------------------|-----------|
| VI-3-3-3-2-1-3 | 残留熱除去系ストレナの強度計算書 | Ver. 19.0 |
| VI-3-3-3-3-1-2 | 高圧炉心注水系ストレナの強度計算書 | Ver. 19.0 |

2. 解析コードの概要

| 項目 \ コード名 | ANSYS |
|---|---|
| 使用目的 | 3次元有限要素法（ソリッド要素）によるストレナ淵部の応力解析 |
| 開発機関 | アンシス |
| 開発時期 | 1970年 |
| 使用したバージョン | Ver. 19.0 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、スワンソン・アナリシス・システムズ(現、アンシス)により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは、広範囲にわたる多目的な有限要素法による計算機プログラムであり、伝熱、構造、流体、電磁界及びマルチフィジックス解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは、アメリカ合衆国連邦規則集 10CFR Part50 Appendix-B 並びに 10CFR Part21 の法規要求、ISO9001 及び ASME NQA-1 の要求事項を満たす品質保証システムの基で開発され、安全系システム、構造及び機器に関する構造解析コードとしての機能が維持され、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p> |
| 検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation) | <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、開発元のリリースノートの例題集において、多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により両者が一致することで検証されている。 ・本解析コード配布時に同梱された ANSYS Mechanical APDL Verification Testing Packageをを入力とした解析により、上記例題集の検証を再現できることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発元から提示された必要要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており，十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものを検証し，その妥当性を確認していることから，本解析の結果に影響はない。 ・本解析コードは，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・本解析コードは，原子力分野では，原子炉設置（変更）許可申請書における応力解析等，これまで多くの構造解析に対し使用実績があり，残留熱除去系ストレーナ並びに高圧炉心注入系ストレーナの原子炉設置（変更）許可申請書におけるストレーナ淵部（リム）の応力解析に対し使用実績があることを確認している。 |
|--|---|

別紙6 MSC NASTRAN

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|----------------|---|--------------------------------|
| VI-3-3-3-2-1-3 | 残留熱除去系ストレーナの強度計算書 | Ver. 2019 Feature Pack 1 |
| VI-3-3-3-2-1-4 | 残留熱除去系ストレーナ部ティーの強度計算書 | Ver. 2019 Feature Pack 1 |
| VI-3-3-3-3-1-2 | 高圧炉心注水系ストレーナの強度計算書 | Ver. 2019 Feature Pack 1 |
| VI-3-3-3-3-1-3 | 高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの強度計算書 | Ver. 2019 Feature Pack 1 |
| VI-3-3-3-3-2-2 | 原子炉隔離時冷却系ストレーナの強度計算書 | Ver. 2019 Feature Pack 1 |
| VI-3-3-3-3-2-3 | 原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの強度計算書 | Ver. 2019 Feature Pack 1 |
| VI-3-3-6-1-1-6 | 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）の強度計算書 | Ver. 2019 Feature Pack 1 |
| VI-3-3-6-1-1-7 | 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）の強度計算書 | Ver. 2019 Feature Pack 1 |
| VI-3-3-6-1-2-3 | 下部ドライウェル機器搬入用ハッチの強度計算書 | Ver. 2019 Feature Pack 1 |
| VI-3-3-6-1-3-3 | 下部ドライウェル所員用エアロックの強度計算書 | Ver. 2019 Feature Pack 1 |
| VI-3-3-6-2-1 | ダイヤフラムフロアの強度計算書 | Ver. 2013. 1. 1 |
| VI-3-3-6-2-3 | ベント管の強度計算書 | Ver. 2019 |

| | | |
|---------------|------------------------|------------------------------------|
| VI-3-3-6-3-1 | 下部ドライウェルアクセストンネルの強度計算書 | Feature Pack 1 Ver. 2019 |
| VI-3-別添 1-9-2 | 主排気筒の強度計算書 | Feature Pack 1 Ver. 2008.0.0 |
| VI-3-別添 2-3 | 軽油タンクの強度計算書 | Ver. 2008.0.0 |

2. 解析コードの概要

2.1 MSC NASTRAN Ver.2019 Feature Pack 1

| 項目 \ コード名 | MSC NASTRAN |
|---|---|
| 使用目的 | 3次元有限要素法（はりモデル及びシェルモデル）による固有値解析及び応力解析 |
| 開発機関 | MSC Software Corporation |
| 開発時期 | 1971年（一般商業用リリース） |
| 使用したバージョン | Ver.2019 Feature Pack 1 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p> |
| 検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation） | <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性 |

| | |
|--|---|
| | <p>がある。</p> <ul style="list-style-type: none">• 本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。• 検証の体系と今回の設計及び工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから、検証結果を持って、解析機能の妥当性も確認できる。• 今回の設計及び工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 |
|--|---|

2.2 MSC NASTRAN Ver. 2013.1.1

| 項目 | コード名 MSC NASTRAN |
|--|---|
| 使用目的 | 3次元有限要素法（シェルモデル）による応力解析 |
| 開発機関 | MSC Software Corporation |
| 開発時期 | 1971年（一般商業用リリース） |
| 使用したバージョン | Ver. 2013.1.1 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p> |
| <p>検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）</p> | <p>【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。 |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none">・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。・今回の設計及び工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 |
|--|---|

2.3 MSC NASTRAN Ver. 2008.0.0

| 項目 | コード名 MSC NASTRAN |
|---|---|
| 使用目的 | 3次元有限要素法（シェル又ははり要素）による応力解析 |
| 開発機関 | MSC Software Corporation |
| 開発時期 | 1971年（一般商業用リリース） |
| 使用したバージョン | Ver. 2008.0.0 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木など様々な分野の構造解析に使用されている。</p> |
| 検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation） | <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造力学分野における一般知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いた3次元有限要素法による解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されている |

| | |
|--|---|
| | <p>ものと同じであることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none">• 本解析コードは、自動車、航空機、土木、造船、海洋油田、工業設備、化学技術、光学及び政府調査等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分確認されている。• 検証の体系と今回の設計及び工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから、解析解と理論界の一致をもって解析機能の妥当性も確認している。 |
|--|---|

別紙7 ABAQUS

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|----------------|-----------------------------|-------------|
| VI-3-3-6-1-1-1 | 原子炉格納容器コンクリート部の強度計算書 | Ver. 6.14-3 |
| VI-3-別添 1-5 | 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書 | Ver. 6.14-3 |
| VI-3-別添 2-9 | 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算書 | Ver. 2017 |

2. 解析コードの概要

2.1 ABAQUS Ver. 6.14-3

| 項目 \ コード名 | ABAQUS |
|---|---|
| 使用目的 | 3次元有限要素法による応力解析（弾塑性） 3次元有限要素法（はり要素，シェル要素及びソリッド要素）による衝突解析 |
| 開発機関 | ダッソー・システムズ株式会社 |
| 開発時期 | 1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ株式会社） |
| 使用したバージョン | Ver. 6.14-3 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは，米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS 社）で開発され，ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機コードである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素及び連続体要素について取り扱うことが可能であり，静的応力解析，動的応力解析，熱応力解析，伝熱解析，座屈解析，陽的時間積分を用いた非線形動的過渡応答解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり，境界条件として，熱流束，温度，集中荷重，分布荷重，加速度等を取り扱うことができる。また，衝突問題などの高速な動的現象や複雑な接触相互作用を含む問題を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p> |
| 検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation） | <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <p>(1) 3次元有限要素法による応力解析（弾塑性）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・面外集中荷重を受ける鉄筋コンクリート造平板の実験についてシミュレーション解析を行い，実験結果の荷重－変位関係と解析結果の比較をすることによ |

| | |
|--|--|
| | <p>り、本解析コードの当該解析機能の妥当性を確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既往知見におけるプレストレストコンクリート製格納容器の耐圧実証試験及びシミュレーション解析の荷重－変位関係により、本解析コードの当該解析機能の妥当性を確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>(2) 3次元有限要素法（はり要素，シェル要素及びソリッド要素）による衝突解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる衝突解析の結果が理論解と概ね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <p>(1) 3次元有限要素法による応力解析（弾塑性）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており，十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本設計及び工事の計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本設計及び工事の計画において使用する3次元有限要素法（積層シェル要素）による応力解析に，本解析コードが |
|--|--|

| | |
|--|--|
| | <p>適用できることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 検証内容のとおり，鉄筋コンクリートの応力解析について検証しており，本設計及び工事の計画において適正な材料構成則を設定していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。 <p>(2) 3次元有限要素法（はり要素，シェル要素及びソリッド要素）による衝突解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており，十分な実績があるため信頼性がある。 ・ 本設計及び工事の計画において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・ 本解析コードは数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を持ち，妥当性は十分に確認されている。 ・ 開発機関が提示するマニュアルにより，今回の設計及び工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法による衝突解析に，本解析コードが適用できることを確認している。 |
|--|--|

2.2 A B A Q U S Ver. 2017

| 項目 \ コード名 | A B A Q U S |
|--|--|
| 使用目的 | 3次元有限要素法（シェル及びはり要素）による固有値解析，応力解析 |
| 開発機関 | ダッソー・システムズ株式会社 |
| 開発時期 | 1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ株式会社） |
| 使用したバージョン | Ver. 2017 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは，米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS 社）で開発され，ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機コードである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素，連続体要素について取り扱うことが可能であり，静的応力解析，動的応力解析，熱応力解析，伝熱解析，座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり，境界条件として，熱流束，温度，集中荷重，分布荷重，加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p> |
| <p>検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）</p> | <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今回使用する適用要素（シェル及びはり要素）について，解析結果が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・最新バージョンへの改訂において，計算結果に大きな影響を与える不具合に伴う改訂が行われていないことを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none">・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。・本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 |
|--|---|

別紙 8 L S - D Y N A

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|---------------|------------------------------|-------------|
| VI-3-別添 1-4-2 | 竜巻防護鋼製フードの強度計算書 | Ver. R8.0.0 |
| VI-3-別添 1-4-4 | 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算書 | Ver. R8.0.0 |
| VI-3-別添 1-4-5 | 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算書 | Ver. R8.1.0 |
| VI-3-別添 1-4-6 | 建屋内防護壁の強度計算書 | Ver. R8.0.0 |
| VI-3-別添 1-4-7 | 竜巻防護扉の強度計算書 | Ver. 971 |
| VI-3-別添 1-6 | 軽油タンクの強度計算書 | Ver. R8.0.0 |

2. 解析コードの概要

2.1 L S - D Y N A Ver. R8. 0. 0

| 項目 \ コード名 | L S - D Y N A |
|---|---|
| 使用目的 | 3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価） |
| 開発機関 | Livemore Software Technology Corporation |
| 開発時期 | 1987年 |
| 使用したバージョン | Ver. R8. 0. 0 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、Lawrence Livemore 研究所により開発・公開された陽解法有限要素法 D Y N A 3 D を基に開発された構造解析用の汎用市販コードである。</p> <p>機械・土木建築その他広範な分野に及ぶ要素群、非線形モデルを多数サポートしており、国内外の宇宙航空、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野において多くの利用実績があり、陽的時間積分を用いていることから、衝突問題等短時間の動的現象のシミュレーションに適している。また、大変形の非線形問題への適用が容易である点に特徴がある。</p> <p>衝突問題や動的荷重を受ける構造物の応力、ひずみや加速度応答等を算出する。</p> |
| 検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation) | <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開発機構マニュアルにおいて提示している 3次元有限要素法による衝突解析に関する例題解析を実施し、解析結果がマニュアルに記載された結果と一致することを確認している。 ・Norwegian University of Science and Technology により、シェル要素およびソリッド要素を用いた薄肉鋼管の軸方向圧縮破壊試験のシミュレーション解析が行なわれており、解析結果と実験結果が概ね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 |

| | |
|--|--|
| | <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており，十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本解析コードは，国内外の宇宙航空，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本解析コードの適正な用途，適用範囲を確認している。 ・今回の設計及び工事計画認可申請で行う 3 次元有限要素法（はり要素，シェル要素）による動的解析（衝突解析）の用途，適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。 ・今回の設計及び工事計画認可申請における構造に対し使用する要素，3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 |
|--|--|

2.2 L S - D Y N A Ver. R8. 1. 0

| 項目 \ コード名 | L S - D Y N A |
|--|--|
| 使用目的 | 3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価） |
| 開発機関 | Livermore Software Technology Corporation |
| 開発時期 | 1987年 |
| 使用したバージョン | Ver. R8. 1. 0 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、Lawrence Livermore 研究所により開発・公開された陽解法有限要素法 D Y N A 3 D を基に開発された構造解析用の汎用市販コードである。</p> <p>機械・土木建築その他広範な分野に及ぶ要素群、非線形モデルを多数サポートしており、国内外の宇宙航空、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野において多くの利用実績があり、陽的時間積分を用いていることから、衝突問題等短時間の動的現象のシミュレーションに適している。また、大変形の非線形問題への適用が容易である点に特徴がある。</p> <p>衝突問題や動的荷重を受ける構造物の応力、ひずみや加速度応答等を算出する。</p> |
| <p>検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）</p> | <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開発機構マニュアルにおいて提示している 3次元有限要素法による衝突解析に関する例題解析を実施し、解析結果がマニュアルに記載された結果と一致することを確認している。 ・Norwegian University of Science and Technology により、シェル要素およびソリッド要素を用いた薄肉鋼管の軸方向圧縮破壊試験のシミュレーション解析が行なわれており、解析結果と実験結果が概ね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており，十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本解析コードは，国内外の宇宙航空，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本解析コードの適正な用途，適用範囲を確認している。 ・今回の設計及び工事計画認可申請で行う 3 次元有限要素法（はり要素，シェル要素）による動的解析（衝突解析）の用途，適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。 ・今回の設計及び工事計画認可申請における構造に対し使用する要素，3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 |
|--|---|

2.3 L S - D Y N A Ver. 971

| 項目 | コード名 L S - D Y N A |
|--|--|
| 使用目的 | 3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価） |
| 開発機関 | Livermore Software Technology Corporation |
| 開発時期 | 1987年 |
| 使用したバージョン | Ver. 971 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、Lawrence Livermore 研究所により開発・公開された陽解法有限要素法 D Y N A 3 D を基に開発された構造解析用の汎用市販コードである。</p> <p>機械・土木建築その他広範な分野に及ぶ要素群、非線形モデルを多数サポートしており、国内外の宇宙航空、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野において多くの利用実績があり、陽的時間積分を用いていることから、衝突問題等短時間の動的現象のシミュレーションに適している。また、大変形の非線形問題への適用が容易である点に特徴がある。</p> <p>衝突問題や動的荷重を受ける構造物の応力、ひずみや加速度応答等を算出する。</p> |
| <p>検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）</p> | <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開発機構マニュアルにおいて提示している 3次元有限要素法による衝突解析に関する例題解析を実施し、解析結果がマニュアルに記載された結果と一致することを確認している。 ・Norwegian University of Science and Technology により、シェル要素およびソリッド要素を用いた薄肉鋼管の軸方向圧縮破壊試験のシミュレーション解析が行なわれており、解析結果と実験結果が概ね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており，十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本解析コードは，国内外の宇宙航空，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本解析コードの適正な用途，適用範囲を確認している。 ・今回の設計及び工事計画認可申請で行う 3 次元有限要素法（はり要素，シェル要素）による動的解析（衝突解析）の用途，適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。 ・今回の設計及び工事計画認可申請における構造に対し使用する要素，3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 |
|--|---|

別紙9 f a p p a s e

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|-------------|--------------|-----------|
| VI-3-別添 2-4 | 原子炉建屋の強度計算書 | Ver. 1.63 |
| VI-3-別添 2-5 | タービン建屋の強度計算書 | Ver. 1.63 |

2. 解析コードの概要

| | |
|---|---|
| 項目 | コード名 f a p p a s e |
| 使用目的 | 応力解析，固有値解析及び地震応答解析 |
| 開発機関 | 鹿島建設株式会社 |
| 開発時期 | 2002 年 |
| 使用したバージョン | Ver. 1.63 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは，超高層建物の非線形地震応答解析用として開発されたインハウスコードである。</p> <p>材料非線形モデルを数多くサポートしており超高層建物や免震建物の非線形地震応答解析による建築構造解析に利用実績があり，固有値解析，動的解析及び静的解析による応力等の算定が可能である。</p> |
| 検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation) | <p>本解析コードは，原子炉建屋屋根トラス及びタービン建屋の応力解析，固有値解析及び地震応答解析に使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。</p> <p>本解析コードの運用環境について動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。</p> <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており，十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本解析コードを用いて，以下の内容を確認している。 <p>① 各部別内部粘性型減衰を用いた地震応答解析を別途検証済解析コード「NUPP4」による等価なダッシ</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>レポートを用いた解析と比較し、同一の解析結果が得られること。</p> <p>② 既往論文に示される1層1スパンX型ブレース（筋違）架構の載荷実験のシミュレーション解析を、本解析コードを用いて同様に実施し、既往論文におけるシミュレーション解析と概ね一致すること。</p> <ul style="list-style-type: none">• 今回の設計及び工事計画認可申請における用途並びに適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であること。 |
|--|---|

別紙 10 NOVAK

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|-------------|--------------|------------|
| VI-3-別添 2-4 | 原子炉建屋の強度計算書 | Ver. 1.3.3 |
| VI-3-別添 2-5 | タービン建屋の強度計算書 | Ver. 1.3.3 |

2. 解析コードの概要

| 項目 | コード名 |
|---|---|
| | NOVAK |
| 使用目的 | 側面地盤ばね算定 |
| 開発機関 | 鹿島建設株式会社 |
| 開発時期 | 1984年 |
| 使用したバージョン | Ver. 1.3.3 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、Novak の論文*に基づき、水平動、鉛直動及び回転動に対する建屋側面地盤の複素ばね剛性を振動数領域で算出するプログラムである。</p> |
| 検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation) | <p>本解析コードは、原子炉建屋及びタービン建屋の地震応答解析における水平方向の地震応答解析モデル（質点系地盤連成モデル）の建屋埋込部分の側面地盤ばねの評価に使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> Novak の論文*に記載されている水平、鉛直及び回転ばねと同一地盤定数を用いた本解析コードによる解析結果を比較し、両者が一致することを確認している。 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 今回の設計及び工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。 本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能 |

| | |
|--|----------------------------|
| | に影響のある変更が行われていないことを確認している。 |
|--|----------------------------|

注記* : Novak, M, et al. : ” Dynamic Soil Reactions for Plane Strain Case” ,
The Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 1978, pp.953-
959

別紙 11 S H A K E

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|-------------|--------------|-------------|
| VI-3-別添 2-4 | 原子炉建屋の強度計算書 | Ver. 1.6.9 |
| VI-3-別添 2-5 | タービン建屋の強度計算書 | Ver. 1.6.10 |

2. 解析コードの概要

2.1 S H A K E Ver. 1. 6. 9

| 項目 \ コード名 | S H A K E |
|---|--|
| 使用目的 | 入力地震動算定 |
| 開発機関 | 鹿島建設株式会社 |
| 開発時期 | 1971 年 |
| 使用したバージョン | Ver. 1. 6. 9 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、米国カルフォルニア大学から発表された S H A K E（最新公開版は S H A K E - 9 1）（以下「S H A K E - 9 1」という。）を基本に開発されたもので、1次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数及び時刻歴波形を算出するプログラムである。</p> |
| 検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation） | <p>本解析コードは、原子炉建屋の地震応答解析における入力地震動の策定において、年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する地盤の応答を評価するために使用している。</p> <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる弾性地盤の増幅特性の解析結果と公開文献*の理論解を比較し、両者がおおむね一致することを確認している。また、S H A K E - 9 1 による解析結果とおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今回の設計及び工事計画認可申請で行う1次元重複反射理論による地盤の応答解析の用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。 |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none">・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 |
|--|--|

注記＊：最新耐震構造解析 柴田明德著 231 頁, 232 頁 森北出版株式会社 第 3 版

2.2 S H A K E Ver. 1. 6. 10

| 項目 \ コード名 | S H A K E |
|---|---|
| 使用目的 | 入力地震動算定 |
| 開発機関 | 鹿島建設株式会社 |
| 開発時期 | 1971 年 |
| 使用したバージョン | Ver. 1. 6. 10 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、米国カルフォルニア大学から発表された S H A K E（最新公開版は S H A K E - 9 1）（以下「S H A K E - 9 1」という。）を基本に開発されたもので、1次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数及び時刻歴波形を算出するプログラムである。</p> |
| 検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation） | <p>本解析コードは、タービン建屋の地震応答解析における入力地震動の策定において、年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する地盤の応答を評価するために使用している。</p> <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる弾性地盤の増幅特性の解析結果と公開文献*の理論解を比較し、両者がおおむね一致することを確認している。また、S H A K E - 9 1 による解析結果とおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今回の設計及び工事計画認可申請で行う1次元重複反射理論による地盤の応答解析の用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョン |

| | |
|--|--|
| | は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 |
|--|--|

注記＊：最新耐震構造解析 柴田明德著 231頁,232頁 森北出版株式会社 第3版

別紙 12 ADMITTF

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|-------------|--------------|------------|
| VI-3-別添 2-4 | 原子炉建屋の強度計算書 | Ver. 1.3.1 |
| VI-3-別添 2-5 | タービン建屋の強度計算書 | Ver. 1.3.1 |

2. 解析コードの概要

| 項目 \ コード名 | ADMI THF |
|---|--|
| 使用目的 | 底面地盤ばね算定 |
| 開発機関 | 鹿島建設株式会社 |
| 開発時期 | 1982年 |
| 使用したバージョン | Ver. 1.3.1 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、振動アドミッタンス理論により、矩形基礎の水平動、鉛直動及び回転動に対する地盤の複素ばね剛性を半無限地盤に対する点加振解から、振動数領域で計算するプログラムである。</p> |
| 検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation) | <p>本解析コードは、原子炉建屋及びタービン建屋の地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定に用いている。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる解析結果と日本建築学会の文献*に記載されている結果（理論解）とを比較し、解析解と理論解がおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今回の設計及び工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能 |

| | |
|--|----------------------------|
| | に影響のある変更が行われていないことを確認している。 |
|--|----------------------------|

注記*：日本建築学会，入門・建物と地盤との動的相互作用，pp. 337-350，1996

別紙 13 N U P P 4

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|-------------|--------------|---------------|
| VI-3-別添 2-4 | 原子炉建屋の強度計算書 | Ver. 1. 4. 11 |
| VI-3-別添 2-5 | タービン建屋の強度計算書 | Ver. 1. 4. 13 |

2. 解析コードの概要

2.1 N U P P 4 Ver. 1. 4. 11

| 項目 \ コード名 | N U P P 4 |
|---|--|
| 使用目的 | 固有値解析及び地震応答解析 |
| 開発機関 | 鹿島建設株式会社 |
| 開発時期 | 1967 年 |
| 使用したバージョン | Ver. 1. 4. 11 |
| コードの概要 | <p>本コードは、原子力発電所建屋の地震応答解析用として開発された質点系モデルによるプログラムである。</p> <p>静荷重（節点荷重）、スペクトルモーダル解析及び動荷重（節点加振力、地震入力）を扱うことができる。</p> <p>地震応答解析は、線形解析及び非線形解析を時間領域における数値積分により行うほか、線形解析を周波数領域で行うことが可能である。</p> |
| 検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation） | <p>本解析コードは、原子炉建屋の年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する地震応答解析に使用している。</p> <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既工事計画において実績のある別コード（D Y N A 2 E）を用いて、同一諸元による固有値解析及び時刻歴応答解析を実施し、本解析コードと D Y N A 2 E の解析結果がおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今回の設計及び工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性 |

| | |
|--|---|
| | <p>がある。</p> <ul style="list-style-type: none">• 本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 |
|--|---|

2.2 NUPP4 Ver. 1.4.13

| 項目 | コード名 NUPP4 |
|--|---|
| 使用目的 | 固有値解析及び地震応答解析 |
| 開発機関 | 鹿島建設株式会社 |
| 開発時期 | 1967年 |
| 使用したバージョン | Ver. 1.4.13 |
| コードの概要 | <p>本コードは、原子力発電所建屋の地震応答解析用として開発された質点系モデルによるプログラムである。</p> <p>静荷重（節点荷重）、スペクトルモーダル解析及び動荷重（節点加振力、地震入力）を扱うことができる。</p> <p>地震応答解析は、線形解析及び非線形解析を時間領域における数値積分により行うほか、線形解析を周波数領域で行うことが可能である。</p> |
| <p>検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）</p> | <p>本解析コードは、タービン建屋の年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する地震応答解析に使用している。</p> <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既工事計画において実績のある別コード（DYNA2E）を用いて、同一諸元による固有値解析及び時刻歴応答解析を実施し、本解析コードとDYNA2Eの解析結果がおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今回の設計及び工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。 |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none">・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 |
|--|--|

別紙 14 Super Build / SS3

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|-------------|------------------------------|---------------|
| VI-3-別添 2-8 | 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算書 | Ver. 1.1.1.49 |

2. 解析コードの概要

| 項目 | コード名 |
|---|---|
| | Super Build / SS3 |
| 使用目的 | 静的応力解析 |
| 開発機関 | ユニオンシステム株式会社 |
| 開発時期 | 2008年 |
| 使用したバージョン | Ver. 1.1.1.49 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、建築基準法に基づき、RC造、S造、SRC造、CFT造及びこれらが混合する構造物について、許容応力度計算から保有水平耐力計算までを一貫して行う構造計算ソフトウェア（プログラム）である。</p> |
| 検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation） | <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードを用いた立体フレームモデルの応力解析結果が、先行審査にて使用実績のある類似解析コード（TDA PⅢ）による解析結果と概ね一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足することを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本設計及び工事計画認可申請における静的応力解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認し |

| | |
|--|------|
| | ている。 |
|--|------|

別紙 15 A S H S D

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|-----------|------------------|--------------|
| VI-3-別添 8 | 原子炉圧力容器スカート強度計算書 | Ver. 6. 1. 2 |

2. 解析コードの概要

| 項目 | コード名 A S H S D |
|---|--|
| 使用目的 | 2次元有限要素法（軸対称モデル）による応力解析 |
| 開発機関 | 株式会社 I H I |
| 開発時期 | 1982年 |
| 使用したバージョン | Ver. 6. 1. 2 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、原子炉圧力容器、シュラウドサポート等の構造解析用プログラムのシステムであって、有限要素法に基づいて計算する計算機プログラムである。</p> <p>軸対称構造物に作用する非軸対称荷重による応力解析を行うことができる。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p> |
| 検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation） | <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・集中荷重を受ける円筒の弾性解析等の代表的な検証用モデルに対し、本解析コードで計算される解析解が理論解と一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本解析コードのマニュアルにより、本設計及び工事の計画で使用する応力計算（軸対称構造物に対する非軸 |

| | |
|--|---------------------------------------|
| | 対称荷重による応力の算出)に、本解析コードが適用できることを確認している。 |
|--|---------------------------------------|

別紙 16 H E A T

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|-----------|------------------|------------|
| VI-3-別添 8 | 原子炉圧力容器スカート強度計算書 | Ver. 7.2.1 |

2. 解析コードの概要

| 項目 | コード名 H E A T |
|---|---|
| 使用目的 | 2次元有限要素法（軸対称モデル）による温度分布解析 |
| 開発機関 | 株式会社 I H I |
| 開発時期 | 1973年 |
| 使用したバージョン | Ver. 7. 2. 1 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、原子炉圧力容器、シュラウドサポート等の構造解析用プログラムのシステムであって、有限要素法に基づいて計算する計算機プログラムである。</p> <p>平面及び軸対称構造物の定常及び非定常温度分布解析を行うことができる。</p> <p>原子力分野における使用実績を有している。</p> |
| 検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation） | <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平板の1次元熱伝導の温度分布解析の代表的な検証用モデルに対して、本解析コードで計算される解析解が理論解と一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本解析コードのマニュアルにより、本設計及び工事の計画で使用する温度分布計算（軸対称構造物に対する |

| | |
|--|-----------------------------------|
| | 温度分布の算出) に，本解析コードが適用できることを確認している。 |
|--|-----------------------------------|

別紙 17 S T A X

1. 使用状況一覧

| 使用添付書類 | | バージョン |
|-----------|------------------|-------------|
| VI-3-別添 8 | 原子炉圧力容器スカート強度計算書 | Ver. 10.1.1 |

2. 解析コードの概要

| 項目 \ コード名 | S T A X |
|---|---|
| 使用目的 | 2次元有限要素法（軸対称モデル）による応力解析 |
| 開発機関 | 株式会社 I H I |
| 開発時期 | 1976年 |
| 使用したバージョン | Ver. 10.1.1 |
| コードの概要 | <p>本解析コードは、原子炉圧力容器、シュラウドサポート等の構造解析用プログラムのシステムであって、有限要素法に基づいて計算する計算機プログラムである。</p> <p>軸対称構造物に作用する軸対称荷重による応力解析及び熱応力解析を行うことができる。</p> <p>熱応力解析に当たっては、温度分布解析用解析コード（H E A T）の結果をファイルを介して自動的に取り込むことができる。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p> |
| 検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation） | <p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内圧を受ける円筒の弾性解析等の代表的な検証用モデルに対し、本解析コードで計算される解析解が理論解と一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。 ・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 |

| | |
|--|--|
| | <p>る。</p> <ul style="list-style-type: none">• 本解析コードのマニュアルにより、本設計及び工事の計画で使用する応力計算（軸対称構造物に対する軸対称荷重による応力の算出）に、本解析コードが適用できることを確認している。 |
|--|--|

VI-4 その他の計算書

VI-4-1 安全弁及び逃がし弁の吹出量計算書

目 次

| | | |
|-------|--------------------------|----|
| 1. | 概要 | 1 |
| 2. | 基本方針 | 1 |
| 2.1 | 記号の定義 | 2 |
| 2.2 | 容量計算方法 | 4 |
| 3. | 原子炉冷却系統施設の安全弁等の容量計算結果 | 5 |
| 3.1 | 吹出量の計算 (E11-F039A, B, C) | 6 |
| 3.1.1 | 設計条件 | 6 |
| 3.1.2 | 吹出量の計算式 | 6 |
| 3.1.3 | 逃がし弁の吹出量 | 6 |
| 3.1.4 | 必要吹出量の設定根拠 | 6 |
| 3.1.5 | 評価結果 | 7 |
| 3.2 | 吹出量の計算 (E11-F042A, B, C) | 8 |
| 3.2.1 | 設計条件 | 8 |
| 3.2.2 | 吹出量の計算式 | 8 |
| 3.2.3 | 逃がし弁の吹出量 | 8 |
| 3.2.4 | 必要吹出量の設定根拠 | 8 |
| 3.2.5 | 評価結果 | 9 |
| 3.3 | 吹出量の計算 (E11-F051A, B, C) | 10 |
| 3.3.1 | 設計条件 | 10 |
| 3.3.2 | 吹出量の計算式 | 10 |
| 3.3.3 | 逃がし弁の吹出量 | 10 |
| 3.3.4 | 必要吹出量の設定根拠 | 10 |
| 3.3.5 | 評価結果 | 11 |
| 3.4 | 吹出量の計算 (E22-F020B, C) | 12 |
| 3.4.1 | 設計条件 | 12 |
| 3.4.2 | 吹出量の計算式 | 12 |
| 3.4.3 | 逃がし弁の吹出量 | 12 |
| 3.4.4 | 必要吹出量の設定根拠 | 12 |
| 3.4.5 | 評価結果 | 13 |
| 3.5 | 吹出量の計算 (E51-F017) | 14 |
| 3.5.1 | 設計条件 | 14 |
| 3.5.2 | 吹出量の計算式 | 14 |
| 3.5.3 | 逃がし弁の吹出量 | 14 |
| 3.5.4 | 必要吹出量の設定根拠 | 14 |
| 3.5.5 | 評価結果 | 15 |
| 4. | 計測制御系統施設の安全弁等の容量計算結果 | 16 |

| | | |
|-------|-----------------------|----|
| 4.1 | 吹出量の計算 (C41-F014) | 17 |
| 4.1.1 | 設計条件 | 17 |
| 4.1.2 | 吹出量の計算式 | 17 |
| 4.1.3 | 逃がし弁の吹出量 | 18 |
| 4.1.4 | 必要吹出量の設定根拠 | 18 |
| 4.1.5 | 評価結果 | 18 |
| 4.2 | 吹出量の計算 (C41-F003A, B) | 19 |
| 4.2.1 | 設計条件 | 19 |
| 4.2.2 | 吹出量の計算式 | 19 |
| 4.2.3 | 逃がし弁の吹出量 | 20 |
| 4.2.4 | 必要吹出量の設定根拠 | 20 |
| 4.2.5 | 評価結果 | 20 |
| 4.3 | 吹出量の計算 (P54-F023A, B) | 21 |
| 4.3.1 | 設計条件 | 21 |
| 4.3.2 | 吹出量の計算式 | 21 |
| 4.3.3 | 安全弁の吹出量 | 22 |
| 4.3.4 | 必要吹出量の設定根拠 | 22 |
| 4.3.5 | 評価結果 | 22 |
| 5. | 原子炉格納施設の安全弁等の容量計算結果 | 23 |
| 5.1 | 吹出量の計算 (T49-F009) | 24 |
| 5.1.1 | 設計条件 | 24 |
| 5.1.2 | 吹出量の計算式 | 24 |
| 5.1.3 | 逃がし弁の吹出量 | 24 |
| 5.1.4 | 必要吹出量の設定根拠 | 24 |
| 5.1.5 | 評価結果 | 25 |
| 5.2 | 吹出量の計算 (T49-F015) | 26 |
| 5.2.1 | 設計条件 | 26 |
| 5.2.2 | 吹出量の計算式 | 26 |
| 5.2.3 | 逃がし弁の吹出量 | 26 |
| 5.2.4 | 必要吹出量の設定根拠 | 27 |
| 5.2.5 | 評価結果 | 27 |

1. 概要

本計算書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第20条及び第57条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」の安全弁等の規定に基づき設置された原子炉冷却系統施設，計測制御系統施設，原子炉格納施設及び非常用電源設備の安全弁及び逃がし弁が，必要な吹出量以上の容量を有することを確認するための容量計算の方針及びこれに基づいた計算結果について説明するものである。

なお，設計基準対象施設に関しては，技術基準規則の要求事項に変更がないため，今回の申請において変更は行わないが，「実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則」の改正により追加となる安全弁及び逃がし弁については，本計算書にて必要吹出量又は容量の算定を行う。

重大事故等時に流路となる配管及び容器に付属する安全弁及び逃がし弁が，重大事故等対処設備としての申請範囲となるため，本計算書にて必要吹出量又は容量の算定を行う。

なお，重大事故等対処設備のうち，原子炉冷却系統施設の主蒸気逃がし安全弁（B21-F001A～H, J～N, P, R～U）の吹出量は，平成4年3月27日付け3資庁第13033号にて認可された工事計画のIV-4-1「主蒸気逃がし安全弁の吹出量計算書」，非常用電源設備の空気だめの安全弁の吹出量は，平成5年6月17日付け4資庁第14561号にて認可された工事計画のIV-4-3「非常用ディーゼル発電設備空気だめの安全弁の吹出量計算書」において必要吹出量の算定を行っており，設計基準対象施設として使用する場合は系統設備及び使用方法に変更がないこと並びに設計基準対象施設に関しては技術基準規則の要求事項に変更がないため，今回の申請において変更は行わない。

2. 基本方針

ガス用安全弁及び逃がし弁（以下「安全弁等」という。）の容量計算は，各安全弁等の施設時に適用された「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和55年通商産業省告示第501号（以下「S55年告示第501号」という。）第103条（安全弁等の容量の計算式）又は「発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む。））J S M E S N S 1-2005/2007）」（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）第10章（安全弁等）の規定に基づいて算定し，算定結果が必要な吹出量以上であることを確認する。

2.1 記号の定義

安全弁等の容量計算に用いる記号について、次に説明する。

(1) ガス用安全弁の容量計算に使用するもの

| | 記号 | 単位 | 定義 |
|---------------------|-------|-----------------|---|
| ガス用安全弁の容量計算*に使用するもの | Q_m | kg/h | 公称吹出し量（容量） |
| | D | mm | 弁座口の径 |
| | d_t | mm | のど部の径 |
| | L | mm | リフト |
| | C' | — | ガスの断熱指数による係数 （「蒸気用及びガス用ばね安全弁」（日本産業規格 J I S B 8 2 1 0 -1994）附属書図2による） |
| | P_1 | MPa | 公称吹出し量決定圧力の絶対圧力 （特に指定のない場合は、吹出圧力の1.1倍の絶対圧力） |
| | P_2 | MPa | 背圧の絶対圧力 |
| | K_d | — | 公称吹出し係数 |
| | A | mm ² | 吹出し面積 （「蒸気用及びガス用ばね安全弁」（日本産業規格 J I S B 8 2 1 0 -1994）附属書付図1による） |
| | M | — | ガスの分子量 |
| | Z | — | 圧縮係数 （「蒸気用及びガス用ばね安全弁」（日本産業規格 J I S B 8 2 1 0 -1994）附属書図3による） |
| | T | K | 公称吹出し量決定圧力におけるガスの絶対温度 |

注記*：設計・建設規格SRV-3111(2)による。

(2) 逃がし弁の容量計算に使用するもの

a. S55年告示第501号に基づく評価を実施する場合

| | 記号 | 単位 | 定義 |
|-------------------|----------------|--------------------|---|
| 逃がし弁の容量計算*に使用するもの | W | kg/h | 弁の容量 |
| | A | mm ² | 弁の流体通路の最小面積 以下の計算式で求めた最も小さな値を使用する。 ・ $A = \pi \cdot D \cdot L$ ・ $A = \frac{\pi}{4} \cdot d_t^2$ 弁体が所定のリフトに達したときに形成される流体通路の面積が $\pi \cdot D \cdot L$ 又は $\frac{\pi}{4} \cdot d_t^2$ のいずれよりも小さい場合は、弁体が所定のリフトに達したときに形成される流体通路の最小面積を A (mm ²) とする。 |
| | n | — | 流量係数 (0.5又は実験的に求めた値) |
| | D | mm | 弁座口の径 |
| | d _t | mm | のど部の径 |
| | L | mm | リフト |
| | ΔP | kg/cm ² | 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 |
| | G | g/cm ³ | 入口側の液体の比重量 |

注記* : S55年告示第501号第103条第1項第三号による。

b. 設計・建設規格に基づく評価を実施する場合

| | 記号 | 単位 | 定義 |
|-------------------|----------------|-------------------|---|
| 逃がし弁の容量計算*に使用するもの | W | kg/h | 弁の容量 |
| | A | mm ² | 弁の流体通路の最小面積 以下の計算式で求めた最も小さな値を使用する。 ・ $A = \pi \cdot D \cdot L$ ・ $A = \frac{\pi}{4} \cdot d_t^2$ |
| | n | — | 流量係数 (0.5または実験的に求めた値) |
| | D | mm | 弁座口の径 |
| | d _t | mm | のど部の径 |
| | L | mm | リフト |
| | △P | MPa | 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 |
| | G | kg/m ³ | 入口側の液体の密度 |

注記*：設計・建設規格SRV-3112による。

2.2 容量計算方法

安全弁等の容量については、次の適用基準に基づく計算式により容量を求める。

| 項目 | 適用基準 | 計算式 |
|-----------------|---------------------------|---|
| ガス用安全弁の吹出量 (容量) | ① 設計・建設規格 SRV-3111(2)* | $Q_m = C' \cdot K_d \cdot A \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot T}} \cdot 0.9$ |
| 逃がし弁の容量 | ② S55年告示第501号 第103条第1項第三号 | $W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$ |
| | ③ 設計・建設規格 SRV-3112 | $W = 5.04 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$ |

注記*：日本産業規格 J I S B 8 2 1 0-1994「蒸気用及びガス用ばね安全弁」の「附属書 安全弁の公称吹出し量の算定方法」の「3. ガス用に対する公称吹出し量」による。

3. 原子炉冷却系統施設の安全弁等の容量計算結果

以下の安全弁等の容量計算結果及び必要な吹出量を次頁以降に示す。

いずれの安全弁等についても容量計算結果が必要吹出量を上回っていることを確認した。

| 番号 | 弁番号 | 適用基準 | 対象区分 |
|----|-----------------|------|-----------|
| 1 | E11-F039A, B, C | ② | D B / S A |
| 2 | E11-F042A, B, C | ② | D B / S A |
| 3 | E11-F051A, B, C | ② | D B / S A |
| 4 | E22-F020B, C | ② | D B / S A |
| 5 | E51-F017 | ② | D B / S A |

3.1 吹出量の計算 (E11-F039A, B, C)

3.1.1 設計条件

| | | | |
|-------------------------------|---|---|------|
| 名 称 | E11-F039A, B, C | | |
| 種 類 | 平衡形 | | |
| 呼び径 (入 口) | 20 | A | |
| の ど 部 の 径 | $d_t =$ | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | mm |
| 弁 座 口 の 径 | $D =$ | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | mm |
| リ フ ト | $L =$ | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | mm以上 |
| 流 体 の 種 類 | 水 | | |
| 吹 出 圧 力 (kg/cm ²) | 87.9 | (8.62MPa) | |
| 最 高 使 用 温 度 (°C) | 302 | | |
| 個 数 | 3 | | |
| 必 要 吹 出 量 (kg/h) | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | | |

3.1.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。) 0.5

ΔP : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 87.4

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 0.745

3.1.3 逃がし弁の吹出量

3.1.2項の式よりWは以下となる。

$$\begin{aligned}
 W &= 50.4 \times \text{} \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 87.4 \times 0.745} \\
 &= \text{} \text{ kg/h (10kg/h未満切捨て)}
 \end{aligned}$$

3.1.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、通常運転時、残留熱除去系に生じる閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし、質量流量で kg/hとする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

3.1.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.2 吹出量の計算 (E11-F042A, B, C)

3.2.1 設計条件

| | | |
|-------------------------------|----------------------|---------------------------|
| 名 称 | E11-F042A, B, C | |
| 種 類 | 平衡形 | |
| 呼び径 (入 口) | 25 | A |
| の ど 部 の 径 | $d_t =$ | <input type="text"/> mm |
| 弁 座 口 の 径 | $D =$ | <input type="text"/> mm |
| リ フ ト | $L =$ | <input type="text"/> mm以上 |
| 流 体 の 種 類 | 水 | |
| 吹 出 圧 力 (kg/cm ²) | 14.0 | (1.37MPa) |
| 最 高 使 用 温 度 (°C) | 182 | |
| 個 数 | 3 | |
| 必 要 吹 出 量 (kg/h) | <input type="text"/> | |

3.2.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。) 0.5

ΔP : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 13.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 0.992

3.2.3 逃がし弁の吹出量

3.2.2項の式よりWは以下となる。

$$\begin{aligned}
 W &= 50.4 \times \text{} \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 13.5 \times 0.992} \\
 &= \text{} \text{ kg/h (10kg/h未満切捨て)}
 \end{aligned}$$

3.2.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、通常運転時、残留熱除去系に生じる閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし、質量流量で kg/hとする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

3.2.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.3 吹出量の計算 (E11-F051A, B, C)

3.3.1 設計条件

| | | |
|-------------------------------|----------------------|---------------------------|
| 名 称 | E11-F051A, B, C | |
| 種 類 | 平衡形 | |
| 呼び径 (入 口) | 25 | A |
| の ど 部 の 径 | $d_t =$ | <input type="text"/> mm |
| 弁 座 口 の 径 | $D =$ | <input type="text"/> mm |
| リ フ ト | $L =$ | <input type="text"/> mm以上 |
| 流 体 の 種 類 | 水 | |
| 吹 出 圧 力 (kg/cm ²) | 35.0 | (3.43MPa) |
| 最 高 使 用 温 度 (°C) | 182 | |
| 個 数 | 3 | |
| 必 要 吹 出 量 (kg/h) | <input type="text"/> | |

3.3.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。) 0.5

ΔP : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 34.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 0.886

3.3.3 逃がし弁の吹出量

3.3.2項の式よりWは以下となる。

$$\begin{aligned}
 W &= 50.4 \times \text{} \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 34.5 \times 0.886} \\
 &= \text{} \text{ kg/h (10kg/h未満切捨て)}
 \end{aligned}$$

3.3.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、原子炉压力容器バウンダリ隔離弁から残留熱除去系への弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で kg/hとする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

3.3.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.4 吹出量の計算 (E22-F020B, C)

3.4.1 設計条件

| | | | |
|-------------------------------|---|---|------|
| 名 称 | E22-F020B, C | | |
| 種 類 | 平衡形 | | |
| 呼び径 (入 口) | 25 | A | |
| の ど 部 の 径 | $d_t =$ | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | mm |
| 弁 座 口 の 径 | $D =$ | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | mm |
| リ フ ト | $L =$ | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | mm以上 |
| 流 体 の 種 類 | 水 | | |
| 吹 出 圧 力 (kg/cm ²) | 14.0 | (1.37MPa) | |
| 最 高 使 用 温 度 (°C) | 104 | | |
| 個 数 | 2 | | |
| 必 要 吹 出 量 (kg/h) | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | | |

3.4.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。) 0.5

ΔP : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 13.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 0.983

3.4.3 逃がし弁の吹出量

3.4.2項の式よりWは以下となる。

$$\begin{aligned}
 W &= 50.4 \times \text{} \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 13.5 \times 0.983} \\
 &= \text{} \text{ kg/h (10kg/h未満切捨て)}
 \end{aligned}$$

3.4.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、通常運転時、高圧炉心注水系に生じる閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし、質量流量で kg/hとする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

3.4.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.5 吹出量の計算 (E51-F017)

3.5.1 設計条件

| | | |
|-------------------------------|----------------------|---------------------------|
| 名 称 | E51-F017 | |
| 種 類 | 平衡形 | |
| 呼び径 (入 口) | 25 | A |
| の ど 部 の 径 | $d_t =$ | <input type="text"/> mm |
| 弁 座 口 の 径 | $D =$ | <input type="text"/> mm |
| リ フ ト | $L =$ | <input type="text"/> mm以上 |
| 流 体 の 種 類 | 水 | |
| 吹 出 圧 力 (kg/cm ²) | 14.0 | (1.37MPa) |
| 最 高 使 用 温 度 (°C) | 104 | |
| 個 数 | 1 | |
| 必 要 吹 出 量 (kg/h) | <input type="text"/> | |

3.5.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。) 0.5

ΔP : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 13.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 0.983

3.5.3 逃がし弁の吹出量

3.5.2項の式よりWは以下となる。

$$\begin{aligned}
 W &= 50.4 \times \text{} \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 13.5 \times 0.983} \\
 &= \text{} \text{ kg/h (10kg/h未満切捨て)}
 \end{aligned}$$

3.5.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、通常運転時、原子炉隔離時冷却系に生じる閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし、質量流量で kg/hとする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

3.5.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

4. 計測制御系統施設の安全弁等の容量計算結果

以下の安全弁等の容量計算結果及び必要な吹出量を次頁以降に示す。

いずれの安全弁等についても容量計算結果が必要吹出量を上回っていることを確認した。

| 番号 | 弁番号 | 適用基準 | 対象区分 |
|----|--------------|------|-----------|
| 1 | C41-F014 | ② | D B / S A |
| 2 | C41-F003A, B | ② | D B / S A |
| 3 | P54-F023A, B | ① | D B / S A |

4.1 吹出量の計算 (C41-F014)

4.1.1 設計条件

| | | |
|-------------------------------|----------------------|---------------------------|
| 名 称 | C41-F014 | |
| 種 類 | 非平衡形 | |
| 呼び径 (入 口) | 20 | A |
| の ど 部 の 径 | $d_t =$ | <input type="text"/> mm |
| 弁 座 口 の 径 | $D =$ | <input type="text"/> mm |
| リ フ ト | $L =$ | <input type="text"/> mm以上 |
| 流 体 の 種 類 | 水 | |
| 吹 出 圧 力 (kg/cm ²) | 14.0 | (1.37MPa) |
| 最 高 使 用 温 度 (°C) | 66 | |
| 個 数 | 1 | |
| 必 要 吹 出 量 (kg/h) | <input type="text"/> | |

4.1.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²) *

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。) 0.5

ΔP : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 13.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 0.981

注記* : 弁体が所定のリフトに達したときに形成される流体通路の面積が

$\pi \cdot D \cdot L$ 又は $\frac{\pi}{4} \cdot d_t^2$ のいずれよりも小さいため、弁体が所定の
リフトに達したとき形成される流体通路の最小面積を A (mm²) とする。

$$A = N \cdot w \cdot L$$

ここで、

N : スリット切欠数 4

w : スリット幅 (mm) 7

4.1.3 逃がし弁の吹出量

4.1.2項の式よりWは以下となる。

$$\begin{aligned} W &= 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 13.5 \times 0.981} \\ &= \square \text{ kg/h (1kg/h未満切捨て)} \end{aligned}$$

4.1.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、ほう酸水注入系ポンプ出口配管の逆止め弁からの弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/hとする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

4.1.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

4.2 吹出量の計算 (C41-F003A, B)

4.2.1 設計条件

| | | | |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|------|
| 名 称 | C41-F003A, B | | |
| 種 類 | 非平衡形 | | |
| 呼び径 (入 口) | 25 | A | |
| の ど 部 の 径 | $d_t =$ | <input type="text"/> | mm |
| 弁 座 口 の 径 | $D =$ | <input type="text"/> | mm |
| リ フ ト | $L =$ | <input type="text"/> | mm以上 |
| 流 体 の 種 類 | 水 | | |
| 吹 出 圧 力 (kg/cm ²) | 110.0 | (10.8MPa) | |
| 最 高 使 用 温 度 (°C) | 66 | | |
| 個 数 | 2 | | |
| 必 要 吹 出 量 (kg/h) | <input type="text"/> | | |

4.2.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²) *

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。) 0.5

ΔP : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 109.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 0.988

注記* : 弁体が所定のリフトに達したときに形成される流体通路の面積が

$\pi \cdot D \cdot L$ 又は $\frac{\pi}{4} \cdot d_t^2$ のいずれよりも小さいため、弁体が所定の
リフトに達したとき形成される流体通路の最小面積を A (mm²) とする。

$$A = N \cdot w \cdot L$$

ここで、

N : スリット切欠数 4

w : スリット幅 (mm) 7

4.2.3 逃がし弁の吹出量

4.2.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 109.5 \times 0.988}$$
$$= \square \text{ kg/h (10kg/h未満切捨て)}$$

4.2.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、ほう酸水注入系ポンプ出口配管にほう酸水注入系ポンプ1台の定格流量が流入した場合に、流入流量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/hとする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

4.2.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

4.3 吹出量の計算 (P54-F023A, B)

4.3.1 設計条件

| | | | |
|------------------|----------------------|----------------------|----|
| 名 称 | P54-F023A, B | | |
| 種 類 | 非平衡形 | | |
| 呼び径 (入 口) | 25 | A | |
| の ど 部 の 径 | $d_t =$ | <input type="text"/> | mm |
| 弁 座 口 の 径 | $D =$ | <input type="text"/> | mm |
| リ フ ト | $L =$ | <input type="text"/> | mm |
| 流 体 の 種 類 | 窒素ガス | | |
| 吹 出 圧 力 (MPa) | 1.77 | | |
| 最 高 使 用 温 度 (°C) | 66 | | |
| 個 数 | 2 | | |
| 必 要 吹 出 量 (kg/h) | <input type="text"/> | | |

4.3.2 吹出量の計算式

安全弁としての吹出量は、設計・建設規格 SRV-3111(2)により、日本産業規格 J I S B 8 2 1 0 -1994「蒸気用及びガス用ばね安全弁」の「附属書 安全弁の公称吹出し量の算定方法」の「3. ガス用に対する公称吹出し量」に従う。

$$Q_m = C' \cdot K_d \cdot A \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot T}} \cdot 0.9$$

ここで、

Q_m : 公称吹出し量 (kg/h)

C' : κ と P_2 / P_1 による係数 (附属書図2による。) 27.0

κ : 断熱指数 1.40

P_1 : 公称吹出し量決定圧力の絶対圧力 (MPa) 2.047

P_2 : 背圧の絶対圧力 (MPa) 0.1

K_d : 公称吹出し係数 (弁メーカーにおける実験で求めた値による。) 0.975

A : 吹出し面積 (mm²)

M : ガスの分子量 28.01

Z : 圧縮係数 (附属書図3による。) 1.0

T : 公称吹出し量決定圧力におけるガスの絶対温度 (K) 339

4.3.3 安全弁の吹出量

4.3.2項の式より Q_m は以下となる。

$$Q_m = 27.0 \times 0.975 \times \square \times 2.047 \times \sqrt{\frac{28.01}{1.0 \times 339}} \times 0.9$$
$$= \square \text{ kg/h (1kg/h未滿切捨て)}$$

4.3.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ及び主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータへの窒素供給時、高圧窒素ガス供給系の減圧弁が故障により全開となった場合に、供給ガス流量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h とする。

また、重大事故等対処設備として必要な吹出量は、主蒸気逃がし安全弁への窒素供給時、高圧窒素ガスポンベの出口の減圧弁が故障により全開となった場合に、供給ガス流量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h とする。

4.3.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

5. 原子炉格納施設の安全弁等の容量計算結果

以下の安全弁等の容量計算結果及び必要な吹出量を次頁以降に示す。

いずれの安全弁等についても容量計算結果が必要吹出量を上回っていることを確認した。

| 番号 | 弁番号 | 適用基準 | 対象区分 |
|----|----------|------|------|
| 1 | T49-F009 | ② | D B |
| 2 | T49-F015 | ③ | D B |

5.1 吹出量の計算 (T49-F009)

5.1.1 設計条件

| | | | |
|-------------------------------|---|---|------|
| 名 称 | T49-F009 | | |
| 種 類 | 平衡形 | | |
| 呼び径 (入 口) | 25 | A | |
| の ど 部 の 径 | $d_t =$ | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | mm |
| 弁 座 口 の 径 | $D =$ | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | mm |
| リ フ ト | $L =$ | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | mm以上 |
| 流 体 の 種 類 | 水 | | |
| 吹 出 圧 力 (kg/cm ²) | 1.1 | (0.11MPa) | |
| 最 高 使 用 温 度 (°C) | 171 | | |
| 個 数 | 1 | | |
| 必 要 吹 出 量 (kg/h) | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | | |

5.1.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。) 0.5

ΔP : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 1.1

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 0.955

5.1.3 逃がし弁の吹出量

5.1.2項の式よりWは以下となる。

$$\begin{aligned}
 W &= 50.4 \times \text{} \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 1.1 \times 0.955} \\
 &= \text{} \text{ kg/h (1kg/h未満切捨て)}
 \end{aligned}$$

5.1.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、可燃性ガス濃度制御系冷却器スプレイ流量が流入した場合に、流入流量を全量逃がし得る容量として、質量流量で kg/hとする。

5.1.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

5.2 吹出量の計算 (T49-F015)

5.2.1 設計条件

| | | | |
|------------------|----------------------|----------------------|------|
| 名 称 | T49-F015 | | |
| 種 類 | 平衡形 | | |
| 呼び径 (入 口) | 25 | A | |
| の ど 部 の 径 | $d_t =$ | <input type="text"/> | mm |
| 弁 座 口 の 径 | $D =$ | <input type="text"/> | mm |
| リ フ ト | $L =$ | <input type="text"/> | mm以上 |
| 流 体 の 種 類 | 水 | | |
| 吹 出 圧 力 (MPa) | 0.104 | | |
| 最 高 使 用 温 度 (°C) | 171 | | |
| 個 数 | 1 | | |
| 必 要 吹 出 量 (kg/h) | <input type="text"/> | | |

5.2.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2001及び2005【事例規格】過圧防護に関する規定 N C - C C - 0 0 1）（日本機械学会）OPP-7000により、設計・建設規格 SRV-3112に従う。

$$W = 5.04 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数（実験的に求めた値以外は0.5とする。） 0.5

ΔP : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (MPa) 0.104

G : 入口側の液体の密度 (kg/m³) 955

5.2.3 逃がし弁の吹出量

5.2.2項の式よりWは以下となる。

$$\begin{aligned}
 W &= 5.04 \times \text{} \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 0.104 \times 955} \\
 &= \text{} \text{ kg/h (1kg/h未満切捨て)}
 \end{aligned}$$

5.2.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、可燃性ガス濃度制御系冷却器スプレイ流量が流入した場合に、流入流量を全量逃がし得る容量として、質量流量で kg/hとする。

5.2.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

VI-4-2 生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

VI-4-2-1 中央制御室の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽
及び熱除去についての計算書

本説明書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第 38 条, 第 54 条及び第 74 条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に基づく生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去について説明するものである。

中央制御室の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算は, VI-1-7-3 「中央制御室の居住性に関する説明書」に含まれている。

VI-4-2-2 緊急時対策所の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽
及び熱除去についての計算書

本説明書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第76条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に基づく生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去について説明するものである。

緊急時対策所の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算は、VI-1-9-3-2「緊急時対策所の居住性に関する説明書」に含まれている。