

新型転換炉「ふげん」データベース
設計／研究開発／プラント特性
[圧力管集合体]

| 技 術 資 料 | | |
|---|--------------|---------|
| 開示区分 | レポート No. | 受領日 |
| T | J1409 97-014 | 9.6.19. |
| この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室 | | |

1997年3月

株式会社ペスコ

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

© 動力炉・核燃料開発事業団 1997

新型転換炉「ふげん」データベース 設計／研究開発／プラント特性 [圧力管集合体]

武田 宏*
澤井 定*
石上 俣*

要 旨

1 開発成果・設計・運転経験の反映

開発成果、設計・運転経験など、プロジェクトで得られた全ての知見は、主として下記に反映される。

- ① 現在のプラント運転の安全性・信頼性の向上
- ② 現在のプラントの改良設計
- ③ 次のプラントの設計

2 “設計／研究開発／プラント特性データベース” 構築の考え方

“設計／研究開発／プラント特性データベース”は、上記の目的に活用できるように構築する。

(1) 設計と研究開発を融合したデータベース

プロジェクトの研究開発は、設計技術根拠、即ち、設計方針、設計基準、許容設計限界値、設計の検証などの確立が主体であることを考慮して研究開発と設計の各データベースを融合したデータベースを構築する。

(2) プラント特性の組み入れ

プラント設計は安全裕度を入れて行うが、プラントはその固有の実力性能、即ち、安全率なしで稼働する。

従って、下記の発展が効果的にできるよう、プラント特性（特に初期特性）をデータベースに組み入れた。

- ① 設計と実力性能を比較評価して、適切な安全裕度を設定
- ② 定期検査データとカップルした劣化度評価
- ③ 燃料の燃焼・組成変化に伴う特性変化の解明
- ④ 実際のプラント特性に基づく技術と設計の高度化

3 “設計／研究開発／プラント特性データベース” の構成

以上の評価を基に、本データベースを下記の構成にした。

- ① 設計基本事項 (表-1)
- ② 設計関連技術情報 (設計技術根拠) (表-2)
- ③ プラント特性 (表-3)

本報告書は、(株)ベスコが動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：080C0259

事業団担当部課室および担当者：動力炉開発推進本部 新型転換炉技術総括グループ 主務 成尾 一輝 殿

*株式会社ベスコ

4 圧力管の“設計／研究開発／プラント特性データベース”

- (1) 圧力管に関する設計認可以降の重要な技術情報
ハードの機器・システムに関する設計認可以降の重要な技術情報は、劣化に対する抵抗性である。
圧力管の場合、これらの情報は起動試験・運転に関する情報と定期検査などで得られる情報で、主要なものは下記のようなものである。
- ① 圧力管に関する機械的強度の推移
 - ② 圧力管の寸法変化推移、特に、内径変化推移
 - ③ 圧力管腐食の推移
 - ④ クラック発生、クラック成長の推移
 - ⑤ 監視試験片の試験結果推移
 - ⑥ 照射の影響
- (2) 圧力管の“設計／研究開発／プラント特性データベース”
上記の情報は、“運転管理・研究開発データベース”に依存するのが妥当と考えられる。
以上の考察より、圧力管の“設計／研究開発／プラント特性データベース”の〔表－3〕は、省略する。

目 次

| | | |
|------|-----------------|-----|
| 表-1 | 設計基本事項 | 1-1 |
| | 1. 設計方針・基準・指針 | 1-1 |
| | 2. 設計条件 | 1-3 |
| | 3. 設計（仕様）・安全裕度 | 1-7 |
| 表-2 | 設計関連技術情報 | 2-1 |
| | 1. 圧力管材料特性 | 2-1 |
| | 2. 圧力管延長部材料特性 | 2-5 |
| | 3. 圧力管応力計算の荷重条件 | 2-6 |
| | 4. 接合試験 | 2-7 |
| | 5. 圧力管の監視 | 2-8 |
| 参考文献 | | 参-1 |

表-1
 新型転換炉「ふげん」データベース
 設計／研究開発／プラント特性
 [圧力管集合体]
 設計基本事項

| 項 目 | 設計方針・設計条件・設計等 | 情報の受・伝 その他 |
|---|--|---------------|
| <p>1. 設計方針・基準 ・指針</p> <p>(1) 全体設計方針</p> <p>(i) 圧力管</p> <p>(ii) 圧力管接合部</p> <p>(2) 各項目設計方針 ・許容値</p> <p>(i) 圧力管肉厚</p> <p>(ii) 設計許容応力</p> | <p>1. 設計方針・基準・指針</p> <p>(1) 全体設計方針</p> <p>(i) 圧力管 圧力管の設計は、Zr-2.5Wt%Nb 合金の特性を 基に、通商産業省告示 501 号に示された軽水炉の 圧力容器（第1種容器）の設計基準に準拠して行 う。</p> <p>(ii) 圧力管接合部 圧力管接合部は、Zr-2.5Wt%Nb 合金の圧力管 が、剛性の高いインコネル-718、または SUS-50 Mod.材でサンドウィッチされ、接合部の Zr-2.5 Wt%Nb 合金材側の応力および歪は、全て剛性の 高い接合部材に支配されるので、接合部の強度 （機械的特性、耐久性）は、試験により確認する （ことで十分安全側である）。 接合部は、特殊構造で理論的応力解析ができな いため、強度を試験により確認する。</p> <p>(2) 各項目設計方針・許容値</p> <p>(i) 圧力管肉厚（公称値） （30年後の有効肉厚）+（腐食代） （公称値） = $\frac{\text{（30年後の有効肉厚）+（腐食代）}}{1 - \text{肉厚の公差}}$</p> <p>(ii) 設計許容応力 以下の最小値とする</p> | |

| | | |
|---------------|--|--|
| | <p>降伏強さ (0.2%耐力) の 2/3 (室温および高温) 引張り強さの 1/3 (室温および高温) 荷重の作用時間に対するクリープ破断強度の最低値の 80%または平均値の 2/3 の何れか小さい値</p> | |
| (iii) 許容クリープ歪 | <p>(iii) 許容クリープ歪 内圧クリーブによる膜歪の許容値：2.5% 2.5%膜歪は、第3次クリープを起こす歪以下と判断した。実機圧力管モニタリングで評価・確認する。</p> | |
| (iv) 腐食代 | <p>(iv) 腐食代 以下の和とする ・水による腐食 ・フレットイングによる腐食 ・炭酸ガスによる腐食</p> | |
| (v) 水素吸収 | <p>(v) 水素吸収 CANDU-BLW-250 の設計値を採用する</p> | |
| (vi) 脆性 | <p>(vi) 脆性 以下のように設計する (欠陥の最大長さ) が (欠陥の最大深さに対する限界欠陥長さ) に対し運転温度と室温において適当な安全率をもっていること (欠陥の最大長さの貫通欠陥長さ) が (貫通欠陥長さに対する限界欠陥長さ) に対し、運転温度において適当な安全率をもっていること ASME Code Sec. III Appendix-G に準拠した評価を行い、以下を満足すること (運転時の応力拡大係数) $\times 2 <$ (限界応力拡大係数) (水圧試験時の応力拡大係数) $\times 1.5 <$ (限界応力拡大係数)</p> | |
| (vii) 疲れ解析 | <p>(vii) 疲れ解析 通商産業省告示 501 号第 13 条第三号に示される疲れ解析を行うことを要しない条件が満足されている</p> | |

| <p>(viii) 接合部の許容基準</p> | <p>ることを示し、対象部分が十分な疲れ強度を有していることを示す</p> <p>(viii) 接合部の許容基準</p> <p>表(抜粋) { 特殊設計施設認可申請書 P.3-(4) } { 表-4 { 試験検査項目 } } { 許容基準 }</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------|-------|-------------|--|--|--|------|----|-------|-----|--------|----|--------|---|---|--------|---|---|------|-------------|---|
| <p>2. 設計条件</p> <p>(1) 圧力管の運転条件</p> <p>(i) 最高使用圧力等</p> <p>(ii) 圧力管圧力等</p> <p>(iii) 圧力管内径</p> <p>(iv) 高速中性子束</p> <p>(2) 荷重条件</p> <p>(i) 荷重の組合せと許容応力強さ</p> | <p>2. 設計条件</p> <p>(1) 圧力管の運転条件</p> <p>(i) 最高使用圧力等</p> <p>最高使用圧力 : 82 kg/cm²・G</p> <p>最高使用温度 : 296℃</p> <p>(ii) 圧力管圧力等</p> <p>圧力管下端圧力 : ~73.6 kg/cm²・G</p> <p>圧力管下端温度 : ~280℃</p> <p>圧力管上端圧力 : ~71.0 kg/cm²・G</p> <p>圧力管上端温度 : ~286℃</p> <p>(iii) 圧力管内径</p> <p>(公称値) : 117.8 mm</p> <p>(iv) 高速中性子束</p> <p>(炉心最大) : 3.4×10¹³n/cm²・s</p> <p>(2) 荷重条件</p> <p>(i) 荷重の組合せと許容応力強さ</p> <table border="1" data-bbox="424 1720 1117 1962"> <thead> <tr> <th colspan="5">許容応力強さ</th> </tr> <tr> <th></th> <th>1次一般</th> <th>1次</th> <th>1次+2次</th> <th>ピーク</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dc1+S1</td> <td>Sm</td> <td>1.5 Sm</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>Oc1+S1</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>3 Sm</td> <td>累積係数 ≤ 1</td> </tr> </tbody> </table> | 許容応力強さ | | | | | | 1次一般 | 1次 | 1次+2次 | ピーク | Dc1+S1 | Sm | 1.5 Sm | — | — | Oc1+S1 | — | — | 3 Sm | 累積係数 ≤ 1 | <p>(受)プラント設計</p> <p>(受)熱水力設計</p> <p>(受)最適設計</p> <p>(受)核設計</p> |
| 許容応力強さ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1次一般 | 1次 | 1次+2次 | ピーク | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dc1+S1 | Sm | 1.5 Sm | — | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oc1+S1 | — | — | 3 Sm | 累積係数 ≤ 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|-----------|--|--|
| | <p> D_{C1} : 最高使用状態荷重 = $D + O_D + P_{RO}$ O_{C1} : 運転状態荷重 = $D + O_P + P_{RO}$ S_1 : 設計地震荷重 = $S_H + P_{RS}$ S_m : 設計許容応力 D : 死荷重 O_D : 最高使用条件時の圧力・温度 O_P : 運転状態時の圧力・温度 P_{RO} : 自重および熱による配管からの反力 P_{RS} : 設計地震による配管からの反力 S_H : 設計地震時に加わる荷重 </p> | |
| (ii) 荷重条件 | <p>(ii) 荷重条件</p> <p> 特殊設計施設認可申請書 表 $\left\{ \begin{array}{l} p2-4-(3)\sim(4), \text{ 左下の表} \\ p2-4-(3)\sim(4), \text{ 同上表の右図} \end{array} \right.$ </p> | |
| (3) クリープ歪 | <p>(3) クリープ歪 (ϵ)</p> $\epsilon = 3.12 \times 10^{-24} \cdot \phi \cdot \frac{P \cdot D}{2 \cdot t} \cdot (T+160) \cdot T_m$ <p> ϕ : 高速中性子束、平均 90%出力運転 ($2.5 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$) P : 内圧、0.715 kg/mm² D : 圧力管内径、177.8 mm t : 圧力管肉厚、3.98 mm T : 圧力管温度、280℃ T_m : 運転時間、30年の85% ($2.24 \times 10^5 \text{ h}$) $\epsilon = 3.12 \times 10^{-24} \cdot \phi \cdot \frac{P \cdot D}{2 \cdot t} \cdot (T-160) \cdot T_m$ </p> | |
| (4) 水素吸収 | <p>(4) 水素吸収</p> <p>初期：25ppm</p> | |
| (5) 脆性 | <p>(5) 脆性</p> | |
| (i) 初期欠陥 | <p>(i) 初期欠陥</p> <p>(受入検査許容欠陥) $\times 1.1$</p> <p>欠陥長さ : 3.3 mm</p> <p>欠陥深さ : 0.15mm</p> | |

| | | |
|------------------------------|--|--|
| | <p>(供用期間中検査の検出可能最小欠陥)</p> <p>欠陥長さ : 5.0mm 欠陥深さ : 0.4mm</p> <p>圧力管集合体の製造工程、燃料交換、フルーティング等による欠陥は想定初期欠陥より、十分小さいと思われるので、これらを評価する必要はないと判断した</p> | |
| (ii) 応力拡大係数 | <p>(ii) 応力拡大係数(K)</p> $K = M \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot F \cdot a}$ <p>M : 1.12 F : 1.0 σ : (設計許容応力) + (くさび効果) a : 欠陥長さ</p> | |
| (iii) 疲れき裂伝播速度 | <p>(iii) 疲れき裂伝播速度 (dc/dN, da/dN)</p> $\frac{dc}{dN} \left[\text{or} \frac{da}{dN} \right] = 1.7 \times 10^{-5} (\Delta K)^{2.5}$ <p>K : 応力拡大係数 kg/mm^{3/2} Δσ : 18.3kg/mm² + 0.82kg/mm² N : 正常運転停止回数 360回 a : 欠陥長さ c : 欠陥深さ</p> | |
| (iv) ASME Code に従った応力拡大係数の計算 | <p>(iv) ASME Code Sec. III Appendix-G に従った評価の応力拡大係数の計算</p> $K = M \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot F \cdot a}$ <p>M : 1.12 F : 1.0 σ : (圧力管膜応力) + (くさび効果) a : 欠陥長さ</p> <p>σの計算条件</p> <p>圧力管内径 = (公称値) + (最大公差) = (117.8 + 0.762) mm</p> <p>圧力管肉厚 = (公称値) - (最大公差) - (腐食代) = (4.3(1-0.075) - 0.62) mm</p> | |

| | | |
|---------------|--|--|
| | 内 圧 =0.715 kg/mm ² (運転時) 0.82 kg/mm ² (試験時) | |
| (6) 接合部の試験条件 | (6) 接合部の試験条件 | |
| (i) 気密試験 | (i) 気密試験 (空気洩れ試験) 試験圧力 5kg/cm ² ・G 放置時間 0.5 時間 試験温度 室温 (ヘリウムリーク試験) 試験圧力 5kg/cm ² ・G (空気洩れ試験後) " " 89kg/cm ² ・G (耐圧試験後) 試験温度 室 温 | |
| (ii) 耐圧試験 | (ii) 耐圧試験 水圧試験 気密試験後実施 試験圧力 160kg/cm ² ・G 放置時間 0.5 時間 試験温度 室 温 | |
| (iii) 熱サイクル試験 | (iii) 熱サイクル試験 (気密試験・耐圧試験後) (熱ソーク試験) 流体温度 300℃±5℃ 圧 力 92kg/cm ² 循環流量 175 リットル/hr 時 間 144 時間 振りモーメント 100 kg-m (熱サイクル試験) 熱サイクル温度範囲 100℃~300℃ 温度上昇率 7℃/min 温度下降率 7℃/min 熱サイクル数 600 回 圧 力 92kg/cm ² 循環流量 175リットル/hr | |

| | | |
|-------------------------------------|--|--|
| | <p>振りモーメント 100kg-m (熱衝撃試験)</p> <p>熱衝撃温度範囲 100℃～300℃</p> <p>温度上昇率 20℃/min</p> <p>温度下降率 7℃/min</p> <p>熱衝撃回数 60回</p> <p>圧力 92kg/cm²</p> <p>循環流量 175リットル/hr</p> <p>振りモーメント 100 kg-m</p> | |
| (iv) 引張試験 | <p>(iv) 引張試験 (気密試験・耐圧試験後)</p> <p>試験温度 設計温度 (300℃)</p> | |
| (v) 曲げ試験 | <p>(v) 曲げ試験 (気密試験・耐圧試験後)</p> <p>試験温度 設計温度</p> <p>試験荷重 設計曲げモーメント 2倍の設計曲げモーメント</p> <p>破断</p> | |
| (vi) 振り試験 | <p>(vi) 振り試験</p> <p>試験温度 設計温度</p> <p>荷重条件 設計振りモーメント 2倍の設計振りモーメント</p> <p>破断</p> | |
| (vii) 内圧繰返し試験 | <p>(vii) 内圧繰返し試験</p> <p>試験温度 室温</p> <p>試験圧力 100kg/cm²～180kg/cm²</p> <p>繰返し回數 5,000～100,000</p> <p>繰返し速度 8～30cpm</p> | |
| 3. 設計 (仕様) ・ 安全裕度 (1) 圧力管主要仕様 | <p>3. 設計 (仕様) ・安全裕度</p> <p>(1) 圧力管主要仕様</p> <p>最高使用圧力 82kg/cm²・G</p> <p>最高使用温度 296℃</p> | |

| | | |
|---|--|--|
| <p>(9) 疲れ解析</p> <p>(i) 設計疲れ線図</p> <p>(ii) 大気圧－運転圧力繰返し回数</p> <p>(iii) 圧力変動の許容全振巾</p> <p>(iv) 2点間の最大許容温度差</p> <p>(v) 機械的荷重の応力の許容全振巾</p> | <p>(i) 接合部付近応力計算</p> <p>表 特殊設計施設認可申請書 p.2-4-(16)、表7</p> <p>表 p.2-4-(17)、表8 解析過渡条件 状態1～4 (p.2-4-(15))</p> <p>表 p.2-4-(18)、表9</p> <p>図 p.2-4-(1)、左下表</p> <p>(9) 疲れ解析</p> <p>(i) 設計疲れ線図</p> <p>図 特殊設計施設認可申請書 p.2-2-(48)、図17</p> <p>(ii) 大気圧－運転圧力繰返し回数 3Sm を繰返しピーク圧力とした場合のこれに対応する許容繰返し回数 = 700 回 (起動停止) + (耐圧・漏洩試験) の繰返し数 = 415 回 (n')</p> <p>(iii) 負荷運転時における圧力変動の許容全振巾 10⁶サイクルに対応する繰返しピーク応力：7.1kg/mm² 同上を越える圧力変動＝ (所内電源そう失) + (クビントリップ) 同上回数 : 320 回 同上における最大圧力変動 : 35.6kg/cm² 同上回数に対応する圧力変動許容全振巾 : 113kg/cm²</p> <p>(iv) 2点間の最大許容温度差 2点間の最大許容温度差 : 604℃ 負荷運転時における2点間の最大許容温度差 : 61.0℃</p> <p>(v) 機械的荷重による応力の許容全振巾 10⁶サイクルに対応する繰返し応力 : 7.1kg/mm² 同上を越す事象 : 設計地震 同上回数 : 50 回 同上回数に対応する繰返しピーク応力 : 183kg/mm²</p> | |
|---|--|--|

| | | |
|----------------------|--|--|
| <p>(10) 接合部の試験結果</p> | <p>(10) 接合部の試験結果</p> <p style="text-align: center;">〔 特殊設計施設認可申請書 〕</p> <p style="text-align: center;">表 p.3-(4)、表 4</p> | |
| <p>(11) 安全裕度</p> | <p>(11) 安全裕度</p> | |
| <p>(i) 脆性評価の安全裕度</p> | <p>(i) 脆性評価の安全裕度</p> <p>初期切欠き欠陥から疲れき裂が初発するまでの応力変化の繰返し数 ($10^3 \sim 10^5$ の桁) を考慮しない。</p> <p>疲れき裂伝播速度は、圧力管使用範囲のデータの Best-fit をとり、疲れ伝播は応力サイクルの 20 倍の安全率をとって解析計算する。</p> <p>応力拡大係数は、表面欠陥長さが無限大で内圧による (くさび効果) を考慮して算出する。</p> <p>欠陥の長さ方向先端の応力拡大係数は欠陥の長さ方向先端より小さいが、長さ方向のき裂進展速度を深さ方向と同一にする。</p> | |

表-2
 新型転換炉「ふげん」データベース
 設計/研究開発/プラント特性
 [圧力管集合体]
 設計関連技術情報

| 項 目 | 技 術 根 拠 等 | 情報の受・伝 その他 |
|-----------------------------|--|---------------|
| 1. 圧力管材料特性 | 1. 圧力管材料特性 | |
| (1) Zr-2.5wt%Nb 合金 組成 | (1) Zr-2.5wt%Nb 合金材料特性 { 特性設計施設認可申請書 } 表 p.2-2-(3)、表 1 | (伝)核設計 |
| (2) Zr-2.5wt%Nb 合金 機械的特性 | (2) Zr-2.5wt%Nb 合金機械的特性 | (伝)燃料設計 |
| (i) 降伏強さ | (i) 降伏強さ { 特殊設計施設認可申請書 } 図 p.2-2-(12)、図 1 BLW-250- TECH NOTE 61, (1964) | |
| (ii) 引張り強さ | (ii) 引張り強さ { 特殊設計施設認可申請書 } 図 p.2-2-(18)、図 4 BLW-250- TECH NOTE61, (1961) | |
| (iii) クリープ破断強さ | (iii) クリープ破断強さ { 特殊設計施設認可申請書 } 図 p.2-2-(18)、図 14 AECL MET- I-58 (1965) | |
| (iv) クリープ速度 | (iv) クリープ速度 設計式 $\dot{\epsilon} = 3.12 \times 10^{-24} \cdot \phi \cdot \sigma \cdot (T-160)$ { 特殊設計施設認可申請書 } 表 p.2-2-(22)、表 9 CRNL-67, (1967); | |

J. of Nuclear Materials, 26,(1968) P2~111;
 表 p.2-2-(23)、表 10
 AECL-3365; CAN (1969), P537;
 図 p.2-2-(27)、図 8 CRNL-139, (1968);
 図 p.2-2-(28)、図 9 AECL NET-I-58;

経験式 (参考-1)

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 \cdot f(\phi t) + B \cdot f(A) \cdot \sigma^n \cdot \phi^p \cdot t^{m-1} \cdot f(T) + f(G)$$

J. of Nuclear Materials, 45, (1973)
 P335~338 and 46, (1973), P281~292;
 Ross- Ross, JUICE Meeting (1973);
 特殊設計施設認可申請書 P2-2-(29), (2)式

- 第1項：時間依存のクリープ挙動
- 第2項：照射のクリープへの影響
- 第3項：照射成長 (無負荷)

$\dot{\epsilon}_0$: 炉外クリープ速度

ϕ : 高速中性子束

t : 時間

B : 定数

f(A) : 異方性に関する関数

σ : 応力

n, p, (m-1) : 指数, (1, 1, 0)

T : 温度

f(G) : 照射成長等に関する関数

経験式 (参考-2)

経験式 (参考-1) の第1項は、長期クリープには第2項に比し、無視でき、第3項を第2項に含めた提案式

$$\dot{\epsilon} = K \cdot \sigma \cdot \phi \cdot \exp(-5500/RT)$$

図 { 特殊設計施設認可申請書 }
 p.2-2-(33)、図 11

K : 5.5×10^{-25}

Ross-Ross, JUICE Meeting(1973);

| | | |
|----------------------------|---|----------|
| | <p>特殊設計施設認可申請書 p2-2-(30), (3)式 R : ガス定数、1.985Kcal/Kmol・°K T : 運転温度、°K σ : 応力、MN/m²</p> | |
| (v) ヤング率 | <p>(v) ヤング率 { 特殊設計施設認可申請書 } 表 p.2-2-(72)、表 28 表 p.2-2-(72)、表 29 CRNL FD-34-19, (1964) CGE TECH. DATA, No.75-379 (1966)</p> | |
| (vi) ポアソン比 | <p>(vi) ポアソン比 { 特殊設計施設認可申請書 } 表 p.2-2-(73)、表 30 CGE TECH. DATA, No.75-379 (1966)</p> | |
| (vii) 縦弾性係数 | <p>(vii) 縦弾性係数 { 特殊設計施設認可申請書 } 表 p.2-4-(9)、表 4</p> | |
| (3) Zr-2.5wt%Nb 合金 熱的特性 | (3) Zr-2.5wt%Nb 合金熱的特性 | (伝)熱水力設計 |
| (i) 熱伝導率 | <p>(i) 熱伝導率 { 特殊設計施設認可申請書 } 図 p.2-2-(75)、図 27</p> | (伝)燃料設計 |
| (ii) 熱膨張率 | <p>(ii) 熱膨張率 (線膨張係数) { 特殊設計施設認可申請書 } 図 p.2-2-(75)、図 28 表 p.2-2-(75)、表 31 HW-60903, (1959)</p> | |
| (iii) 比熱 | <p>(iii) 比熱 { 特殊設計施設認可申請書 } 図 p.2-2-(76)、図 29 表 p.2-2-(76)、表 32 BM1-1644, (1963); J. of Nuclear Materials, 18,</p> | |

| | | |
|--|---|-------------------------------|
| <p>(iv) 密度</p> <p>(4) 疲れ特性</p> <p>(5) 腐食特性</p> <p>(6) 水素吸収特性</p> | <p>(1966), P233</p> <p>(iv) 密度 $0.238 \cdot \text{lb}/\text{in}^3 = 6.6 \text{g}/\text{cm}^3$ 〔特殊設計施設認可申請書〕 p.2-2-(74)</p> <p>(4) 疲れ特性 (設計疲れ線図) 〔特性設計施設認可申請書〕 図 p.2-2-(54)、図 22 TRG/AECL NEWSLETTER-14, (1965); JEARI-memo 4604, (1971)</p> <p>(5) 腐食特性 中性水による腐食代設計値 フルッティングによる腐食代設計値 炭酸ガスによる腐食代設計値 〔特殊設計施設認可申請書〕 表 p.2-2-(63)、表 18 (中央部を除く)) BLW-250-NOTE-MET.5, (1966)</p> <p>(6) 水素吸収特性 〔特性設計施設認可申請書〕 表 p.2-2-(70)、表 27 表 p.2-2-(70)、表 26 BLW-250-TECH..NOTE 61, (1966); AECL MET-I-58, (1965)</p> <p>30年後、圧力管の水素吸収量が 211ppm と 評価した根拠 BLW-250 圧力管の水素吸収設計値 = 110ppm 10年間、肉厚 0.095” p.2-2-(70)、表 27 “ふげん” 圧力管の水素吸収設計値 = (110ppm) $\cdot \frac{0.095''}{(4.3/25.4)''} \cdot \frac{30 \text{年}}{10 \text{年}}$ = 186ppm</p> | <p>(伝)燃料設計</p> <p>(伝)燃料設計</p> |
|--|---|-------------------------------|

| | | |
|---|--|--|
| <p>(7) 脆性特性</p> <p>(i) き裂伝播特性</p> <p>(ii) 疲れき裂初発特性</p> <p>(iii) 破壊靱性</p> <p>(iv) 限界欠陥特性</p> <p>(v) LBB 試験</p> | <p>初期水素含有量 25ppm 30年後、水素含有量 25+186=211ppm</p> <p>(7) 脆性特性</p> <p>(i) き裂伝播特性 { 特殊設計施設認可申請書 図 p.2-3-(29)、図 15 (室温) 図 p.2-3-(30)、図 16 (300℃) }</p> <p>(ii) 疲れき裂初発特性 { 特殊背系施設認可申請書 図 p.2-3-(28)、図 14 }</p> <p>(iii) 破壊靱性 { 特殊設計施設認可申請書 図 p.2-3-(31)、図 17 (水素含有量の影響) 図 p.2-3-(32)、図 18 (温度の影響) }</p> <p>(iv) 限界欠陥特性 { 特殊設計施設認可申請書 図 p.2-3-(34)、図 20 (室温) 図 p.2-3-(35)、図 21 (300℃) 図 p.2-3-(37)、図 23 (250ppm H₂) }</p> <p>(v) LBB 試験 { 特殊設計施設認可申請書 表 p.2-1-(32)、表 1 }</p> | |
| <p>2. 圧力管延長部材料特性</p> <p>(1) SUS50Mod. 組成</p> | <p>2. 圧力管延長部材料特性</p> <p>(1) SUS50Mod. 組成 { “ふげん” の開発実績 表 p.79、表 2.3.11 }</p> | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------|-------|-----|------|----|-------|--------|---------------------------|--------|------|---------|--|---------|----------------------------|------|-------|---------|------|---------|---------------------------|--|
| <p>(2) SUS50Mod. 機械的特性</p> <p>(3) SUS50Mod. 衝撃遷移特性</p> | <p>(2) SUS50Mod. 機械的特性 { “ふげん” の開発実績 } 表 p.79、表 2.3.11</p> <p>(3) SUS50Mod. 衝撃遷移特性 { “ふげん” の開発特性 } 表 p.80、図 2.3.24</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>3. 圧力管応力計算の荷重条件</p> <p>(1) 応力計算点</p> <p>(2) 設計荷重条件</p> <p>(i) 死荷重</p> <p>(ii) 最高使用条件時の圧力・温度</p> <p>(iii) 運転状態時の圧力・温度</p> <p>(iv) 設計地震時に加わる荷重</p> <p>(v) 自重と熱による配管からの応力</p> | <p>3. 圧力管応力計算の荷重条件</p> <p>(1) 応力計算点 (下部接合部付近) { 特別設計施設認可申請書 } 図 p.2-4-(1)、図 1</p> <p>(2) 設計荷重条件</p> <p>(i) 死荷重 (D)</p> <table border="0" style="margin-left: 40px;"> <tr><td>上部延長管</td><td>101kg</td></tr> <tr><td>圧力管</td><td>56kg</td></tr> <tr><td>合計</td><td>157kg</td></tr> </table> <p>(ii) 最高使用条件時の圧力・温度 (Op)</p> <table border="0" style="margin-left: 40px;"> <tr><td>最高使用圧力</td><td>82.0kg/cm²・G</td></tr> <tr><td>最高使用温度</td><td>296℃</td></tr> </table> <p>(iii) 運転状態時の圧力・温度 (Op) { 特殊設計施設認可申請書 } 図 p.2-4-(3)~(4)、図 2</p> <p>(iv) 設計地震時に加わる荷重 (SH)</p> <table border="0" style="margin-left: 40px;"> <tr><td colspan="2">水平方向地震力</td></tr> <tr><td>曲げモーメント</td><td>1.55×10⁵kg・mm</td></tr> <tr><td>せん断力</td><td>148kg</td></tr> <tr><td>垂直方向地震力</td><td>45kg</td></tr> </table> <p>(v) 自重と熱による配管からの反力 (Pro)</p> <table border="0" style="margin-left: 40px;"> <tr><td>曲げモーメント</td><td>1.0×10³kg・mm</td></tr> </table> | 上部延長管 | 101kg | 圧力管 | 56kg | 合計 | 157kg | 最高使用圧力 | 82.0kg/cm ² ・G | 最高使用温度 | 296℃ | 水平方向地震力 | | 曲げモーメント | 1.55×10 ⁵ kg・mm | せん断力 | 148kg | 垂直方向地震力 | 45kg | 曲げモーメント | 1.0×10 ³ kg・mm | |
| 上部延長管 | 101kg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 圧力管 | 56kg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 合計 | 157kg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 最高使用圧力 | 82.0kg/cm ² ・G | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 最高使用温度 | 296℃ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 水平方向地震力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 曲げモーメント | 1.55×10 ⁵ kg・mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| せん断力 | 148kg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 垂直方向地震力 | 45kg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 曲げモーメント | 1.0×10 ³ kg・mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|--|--|--|
| <p>(vi) 設計地震による配管からの反力</p> <p>(3) 温度分布</p> <p>(i) 温度分布評価点</p> <p>(ii) 温度分布変化</p> | <p>軸力 31kg 振りモーメント $1.3 \times 10^4 \text{kg} \cdot \text{mm}$ 〔特殊設計施設認可申請書〕 表 p.2-4-(6)、表1</p> <p>(vi) 設計地震による配管からの反力 (Prs) モーメント $3.0 \times 10^3 \text{kg} \cdot \text{mm}$ 軸力 73kg 振りモーメント $6.6 \times 10^4 \text{kg} \cdot \text{mm}$ 〔特殊設計施設認可申請書〕 表 p.2-4-(8)、表2</p> <p>(3) 温度分布</p> <p>(i) 温度分布評価点 〔特殊設計施設認可申請書〕 図 p.2-4-(11)、図3</p> <p>(ii) 温度分布変化 〔特殊設計施設認可申請書〕 図 p.2-4-(12)、図4-1 図 p.2-4-(13)、図4-2 図 p.2-4-(14)、図4-3</p> | |
| <p>4. 接合試験</p> <p>(1) 接合部試験一覧</p> <p>(i) 短尺圧力管上部接合部試験</p> <p>(ii) 短尺圧力管下部接合部試験</p> | <p>4. 接合試験</p> <p>(1) 接合部試験一覧</p> <p>(i) 短尺圧力管上部接合部試験 〔特殊設計施設認可申請書〕 表 p.3-(2)、表1</p> <p>(ii) 短尺圧力管下部接合部試験 〔特殊設計施設認可申請書〕 表 p.3-(2)、表2</p> | |

| | | |
|--|---|------------------|
| <p>(iii) 実尺圧力管集合体試験</p> <p>(2) 接合部試験結果一覧</p> <p>(3) 短尺圧力管上部接合部試験結果</p> <p>(4) 短尺圧力管下部接合部試験結果</p> <p>(5) 実尺圧力管集合体試験結果</p> | <p>(iii) 実尺圧力管集合体試験 特殊設計施設認可申請書 表 p.3-(3)、表 3</p> <p>(2) 接合部試験結果一覧 特殊設計施設認可申請書 表 p.3-(4)、表 4</p> <p>(3) 短尺圧力管上部接合部試験結果 特殊設計施設認可申請書 表 p.3-(25)、表 5 表 p.3-(27)、表 6 表 p.3-(29)、表 7</p> <p>(4) 短尺圧力管下部接合部試験結果 特殊設計施設認可申請書 表 p.3-(31)、表 8 表 p.3-(33)、表 9 表 p.3-(35)、表 10</p> <p>(5) 実尺圧力管集合体試験結果 特殊設計施設認可申請書 表 p.3-(45)、表 11</p> | |
| <p>5. 圧力管の監視</p> <p>(1) 圧力管モニタリング計画</p> | <p>5. 圧力管の監視</p> <p>(1) 圧力管モニタリング計画 新型転換炉原型炉設置許可変更申請書 添付書類、(完本) 添付書類八、追補 6、p.109、参照 特殊設計施設認可申請書 別添資料 2、p.2-1-(10)~(11)、参照 追跡圧力管検査 検査項目：クリープ歪 本 数：4 本 供用期間中検査 検査項目：超音波による欠陥検査</p> | <p>(伝)プラント設計</p> |

| ITV による内面観察 検査本数：10年間で10%の圧力管 | | |
|---|---|------------------|
| <p>(2) 監視試験片による監視</p> <p>(i) 監視試験片の種類</p> | <p>(2) 監視試験片による監視</p> <p>(i) 監視試験片の種類</p> <p> { 新型転換炉原型炉設置変更許可申請書、 添付書類（完本） 添付書類八、追補2、p.93 参照 同上、第3.3-3図、p.11 </p> <p>引張試験片 曲げ試験片 腐食試験片</p> | <p>(伝)プラント設計</p> |
| <p>(ii) 監視試験片取出し計画</p> | <p>(ii) 監視試験片取出し計画</p> <p> { 新型転換炉原型炉設置変更許可 申請書、添付書類（完本） 表 添付書類八、追補5、p.103、表 </p> | |
| <p>(3) 炭酸ガス系による監視</p> | <p>(3) 炭酸ガス系による監視</p> <p>炭酸ガス系出口の室分検出で監視する。</p> | <p>(伝)プラント設計</p> |

参 考 資 料

- (1) 新型転換炉原型炉 原子炉設置変更許可申請書、添付書類（完本）、添付書類八
（昭和 51 年 6 月）
- (2) 新型転換炉原型炉 原子炉設置許可申請書、参考資料 （63 部会）
（昭和 45 年 11 月）
- (3) 新型転換炉原型炉 原子炉設置変更許可申請書、参考資料 （82 部会）
（昭和 47 年 1 月）
- (4) 新型転換炉原型炉 原子炉設置変更許可申請書、参考資料 （105 部会）
（昭和 49 年 9 月）
- (5) 敦賀事業所 発電用原子力設備技術基準特殊設計施設認可申請書
（圧力管材料、圧力管、圧力管上下延長部の接合法）
（昭和 49 年 2 月）
- (6) 「ふげん」の開発実績、動力炉・核燃料開発事業団
（昭和 54 年 11 月）
- (7) “原子カプラント開発の技術情報処理・活用システム”、基本システム構成
PNC PN1410 91-043, (1991. 6)