

| | |
|-----|---|
| No. | 高浜 1 - 特別点検 (原子炉格納容器) - 8 rev4 |
| 質 問 | <p>(添付 2)</p> <p>非破壊試験 (VT-4) の判定基準「原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える恐れのある塗膜の劣化や腐食」の判断基準又は限界見本を提示すること。</p> |
| 回 答 | <p>判断基準としては、添付 1 の通り、塗膜に割れ、欠け、剥がれ、膨れの有無、下塗りの健全性、母材の発錆の有無等を確認することで、構造健全性または気密性に影響を与える恐れのある塗膜の劣化や腐食がないかを判断している。</p> <p>添付 1 に示す点検フローの考え方を以下に示す。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①原子炉格納容器の塗膜に割れ、欠け、剥がれ、膨れの異常が認められなければ、塗膜の劣化がないと判断。 ②原子炉格納容器の塗膜は、上塗り、中塗り、下塗りの 3 層からなり、たとえ上塗り及び中塗り部分に割れ等の損傷があっても、下塗りが健全で原子炉格納容器鋼板の表面を覆っていれば、金属表面が大気にさらされないことから、原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える塗膜の劣化はないと判断。 ③下塗りが健全でない、または下塗りの健全性が確認できない状況である場合、発錆が認められなければ、原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える恐れのある腐食ではないと判断。 ④金属母材が見えているような薄い表面錆が確認されたとしても、侵食されて母材板厚が変わるほどの影響がなければ、これも構造健全性または気密性に影響を与える恐れのある腐食ではないと判断。 <p>本点検フローは、点検実施前の作業計画書の読み合わせの際に点検施工会社へ周知を行い調達要求事項としている。議事録を添付 2 に示す。</p> <p>なお、今回の特別点検では、添付 3 のとおり点検の結果、「問題なし」と判断したもののうち、添付 1 の点検フローの②が該当する場合は気付き事項として点検施工会社より連絡を受けており、当該部位については機器保全の観点から塗膜状態の確認を行なうとともに塗装を実施している。点検フロー②と判断される鋼板の塗膜状況の例を添付 4 に示す。</p> <p>(現状保全と特別点検の比較)</p> <p>PWR の原子炉格納容器鋼板は水に接していないことから、維持規格において定期的な検査は要求されていないが、現状の保守管理として、定期的な原子炉格納容器漏えい率試験時に目視点検を実施している。</p> |

従来の点検（漏えい率試験時）と今回の特別点検の点検方法の比較を表1に示す。

表1 点検方法の比較

| | 原子炉格納容器 漏えい率試験時の点検 (従来の点検) | 特別点検 (今回の点検) |
|------|---|--|
| 点検範囲 | 原子炉格納容器鋼板 (円筒部外面上部等を除く) | 原子炉格納容器鋼板 (接近できる点検可能範囲の 全て) |
| 点検方法 | 目視点検 ・高所は双眼鏡を用いた点検 ・点検時の照度、グレーカードの 確認等なし | 目視点検 (VT-4) ・高所は高倍率のカメラ等を使用 ・点検時の照度、グレーカードの 確認・検証あり |

今回の特別点検では、従来の点検と比較して確認が容易でなかった円筒部外面上部等を含め、仮設足場や搭乗設備を使用して可能な限り点検不可範囲を低減させる手法を選択して点検を実施した。

点検不可範囲について、従来の点検と特別点検の比較を表2に示す。

表2 点検不可範囲の比較

| 従来の点検 | 特別点検 | 点検不可範囲の違い |
|-------------|-------------|--|
| 点検不可 (×) | 点検可能 (○) | ・円筒部外面上部 ・高所の干渉物裏（鋼板より距離あり） 恒設足場が設置されていない範囲については従来の点検が容易でない。特別点検では仮設足場や搭乗設備を利用して点検実施 |
| 点検可能 (○) | 点検不可 (×) | ・フロア付近の干渉物裏 特別点検として要求するVT-4の要求条件での点検は不可であったものの、現状保全にて目視点検は実施できる |
| 点検不可 (×) | 点検不可 (×) | ・高所の干渉物裏（鋼板より距離なし） 恒設足場が設置されていない範囲については従来の点検が容易でない。特別点検にて搭乗設備等を利用して近接した場合でも、VT-4の要求条件の確保ができず点検不可範囲となる |

(点検結果を踏まえた考察)

今回の特別点検では、従来と比較して確認が容易でなかった円筒部外面上部等を含め、仮設足場や搭乗設備等も利用して接近できる点検可能な全ての範囲を対象として、視認性を実証できる条件で点検を実施した。その結果、一部の鋼板において塗膜の割れ等が確認されたが、下塗りは健全であったことから、原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える塗膜の劣化は確認されなかった。

今回の点検で塗膜の割れ等が確認された範囲は半球部外面（屋外）及び原子炉格納容器内外のフロア・恒設足場が設置されている範囲が大半であった。塗膜の割れ等が比較的多く確認された範囲を添付5に示す。

半球部外面の鋼板は屋外大気に曝され、紫外線・水分（雨水）といった塗膜に対して厳しい環境であるため、これまでも従来の点検結果等により、適宜塗装を実施している。一方で、半球部内面や円筒部内外面の鋼板は屋外大気に曝されていないが、半球部外面の鋼板ほど厳しい環境にないが、点検結果等により、必要に応じて塗装を実施している。

従来の点検、今回の特別点検それぞれについて点検不可範囲は存在するものの、基本的には以下（表3）の通り現状で塗膜の健全性が担保されていることと、点検不可範囲は屋内であり腐食が促進される環境でないことから、今後も現状の保全管理を継続することで原子炉格納容器鋼板の健全性を維持できると考える。

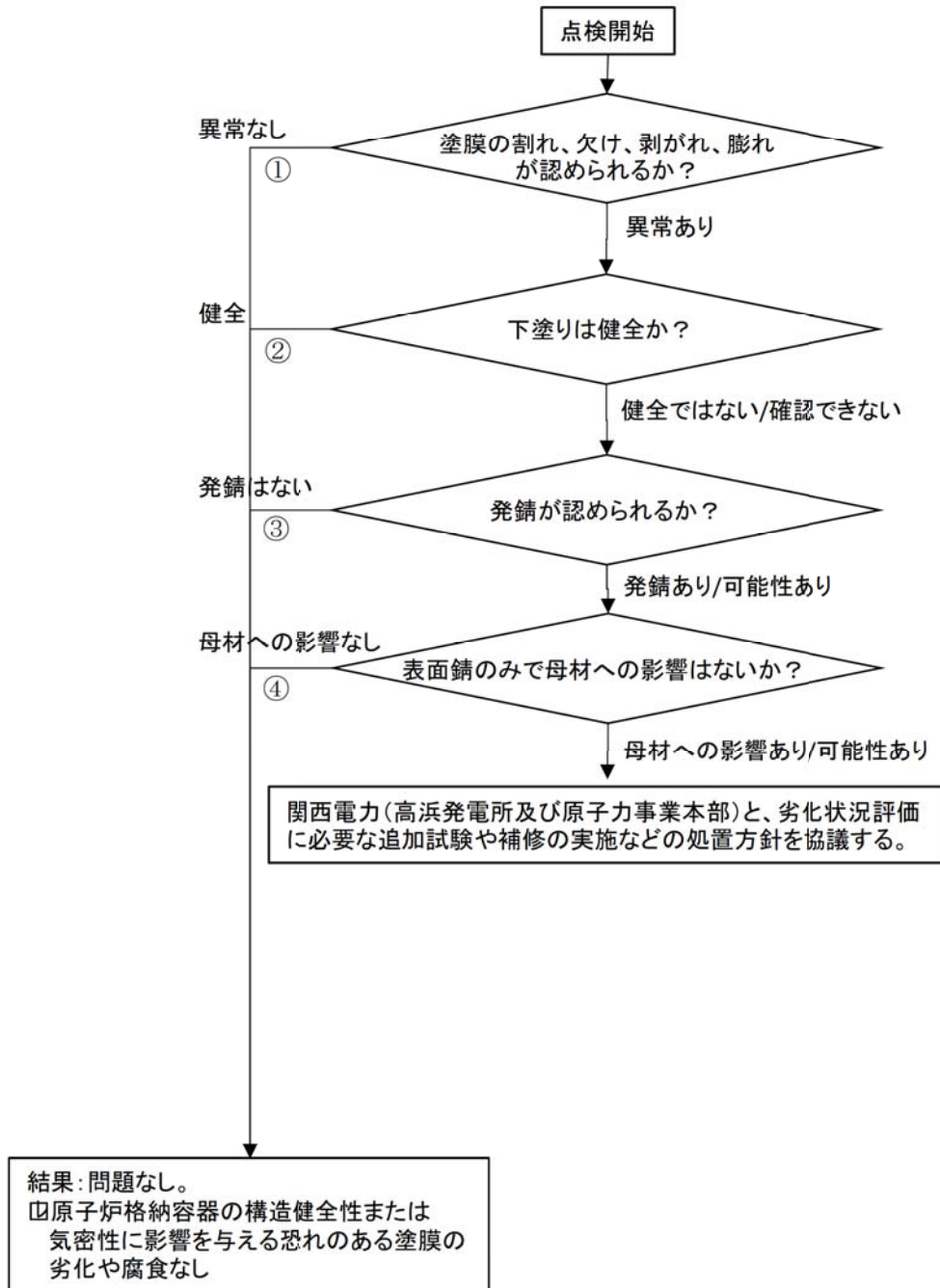
ただし、特別点検の結果を踏まえ、比較的「塗膜の割れ等」が多く確認された添付5の③のうち、リングガード下部については、従来の点検手法では確認しづらい箇所があるため、点検手法の改善を実施していく。

表3 保全の考え方

| 従来の点検 | 特別点検 | 今後の保全についての考え方 |
|-------------|-------------|---|
| 点検不可 (×) | 点検可能 (○) | <ul style="list-style-type: none"> ・円筒部外面上部 ・高所の干渉物裏（鋼板より距離あり） 当該範囲の点検において塗膜の劣化は少なく、確認された塗膜の劣化については必要に応じて塗裝修繕を行い塗膜の健全性を確保したことに加えて、劣化の少ない屋内環境であることから、現状保全を継続することで今後の運転延長期間における原子炉格納容器鋼板の健全性が保たれる。 |
| 点検可能 (○) | 点検不可 (×) | <ul style="list-style-type: none"> ・フロア付近の干渉物裏 従来の点検でVT-4の要求条件ではないものの点検が実施できており、塗膜の健全性が維持されていることを確認していることから、現状保全を継続することで今後の運転延長期間における原子炉格納容器鋼板の健全性が保たれる。 |
| 点検不可 (×) | 点検不可 (×) | <ul style="list-style-type: none"> ・高所の干渉物裏（鋼板より距離なし） 干渉物裏の極めて限定された範囲のみが点検不可範囲であり、周辺の鋼板は現状保全で点検可能な範囲である。環境条件は周囲の鋼板と同じであり、周辺を塗裝修繕する際は点検不可範囲についても合わせて塗装実施していることから、現状保全を継続することで今後の運転延長期間における原子炉格納容器鋼板の健全性が保たれる。 |

以上

CV特別点検における点検フロー(判断基準について)



議 事 録 (1 / 2)

平成 26 年 11 月 28 日 作成

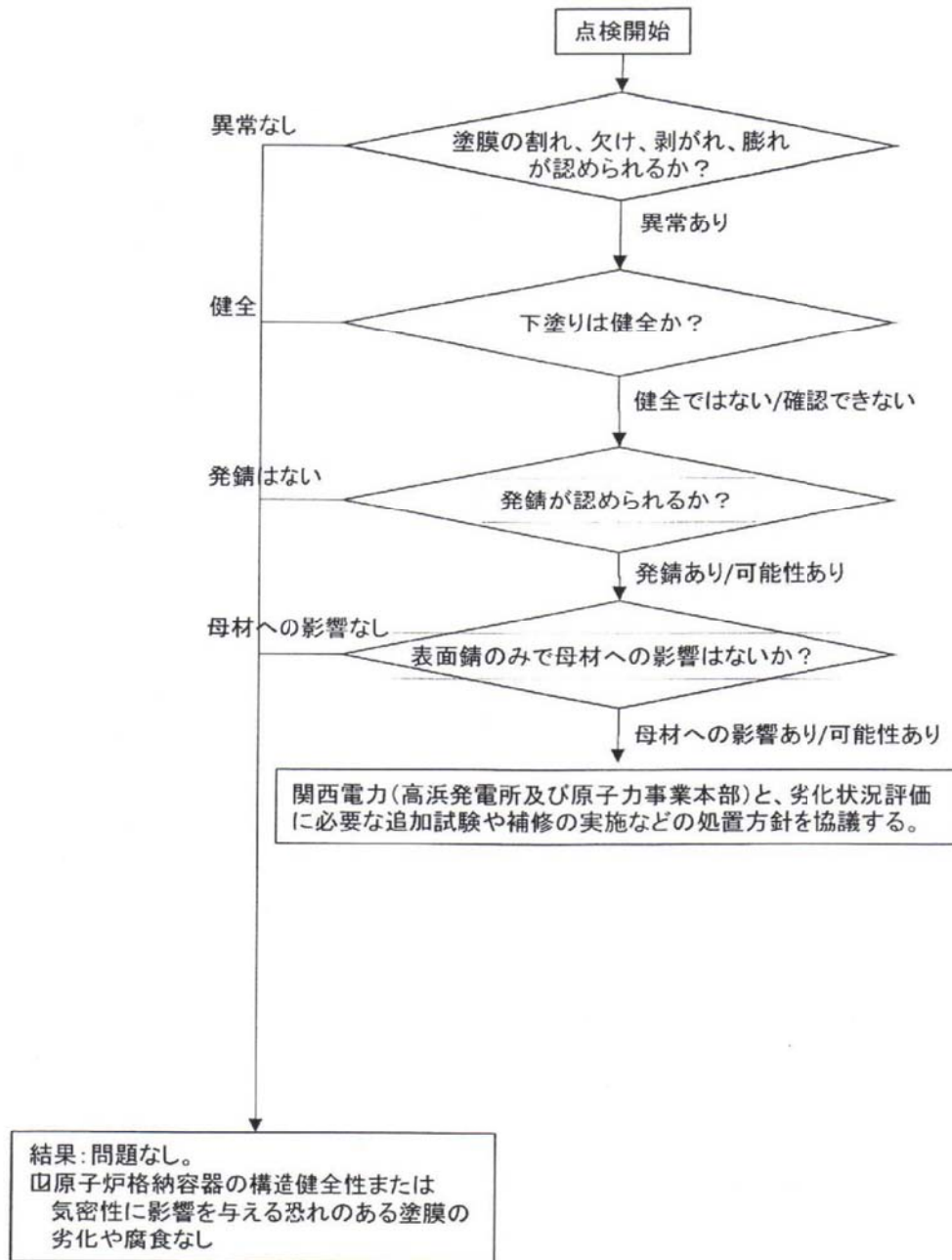
| | |
|----|-----|
| 承認 | 作成者 |
| | |

| | | | | |
|--|---|----|-----------------------|--------------------|
| 議題 | 高浜発電所 1, 2 号機 原子炉格納容器特別点検工事 作業前読み合せ議事録 | | | 添付資料の有無 ① 有 ・ 無 |
| 日時 | 平成 26 年 11 月 28 日 10:00~10:30 | 場所 | KTN 第 1 ビル 302 会議室 | 出席者 |
| 打ち合わせ内容 | | | | 対応者 |
| <p>「高浜発電所 1, 2 号機 原子炉格納容器特別点検工事」に関して、作業前読み合せを実施した。</p> <p>1. 計画書の流れに沿って、説明を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 体制確認 ➤ 立会い <ul style="list-style-type: none"> ・ FL 毎かつ 90° 毎 (0°、90°、180°、270° の 4 箇所) ・ [redacted] の都合に合わせて実施 ・ 立会いを受ける鋼板は NDI にて選定する。 ➤ 資機材搬入 <ul style="list-style-type: none"> ・ 12/1 [redacted] と 2 号 17m 機器ハッチより ➤ 計画書のサイン <ul style="list-style-type: none"> ・ 11/28 以降の日付で ➤ 工程 <ul style="list-style-type: none"> ・ 1, 2u 半球部外面 : 12/1~ ・ 半球部内面についてはポーラクレーン占有期間内で実施 ・ 1/12~17 2u 2 直体制 ・ 円筒部外面 <ul style="list-style-type: none"> 1u : 2/2~14 2u : 3/2~14 ・ 円筒部内面 32m 以上は、自由な工程となっている。 | | | | 処置日 |

議 事 録 (2 / 2)

| 打ち合わせ内容 | 対応者 | 処置日 |
|--|-----|-----|
| <p>2. 当て板部の点検について</p> <ul style="list-style-type: none">➤ ゴンドラ使用箇所や、点検と同時に可能な箇所については本点検と並行して実施する。➤ 複雑な形状のペネや、機器ハッチ等の点検に時間のかかりそうな箇所は、本点検完了後に実施する。 <p>3. 判断フローについて</p> <p>異常箇所の判断フローについて [REDACTED] より説明有り。</p> <p>項目 4 の母材への影響なしについての判断は、関西電力殿へ連絡の上、確認して頂くことで確認を取った。</p> <p>4. 塗装の注意表示</p> <p>点検前にはがし、点検後に復旧する。</p> <p>バイオランテープも同様。</p> <p>5. 試験実施日、試験実施者</p> <p>点検実施日、点検実施者に変更。</p> <p>(工事記録・特別点検記録共に)</p> <p>6. 放射線管理専任者より</p> <ul style="list-style-type: none">➤ 1A 区域へ移動時は、物品のサーベイを必ず行うこと。➤ アニュラス立入後は、30 分程度待機してから退出すること。 <p style="text-align: right;">以上</p> | | |

CV特別点検における点検フロー(判断基準について)



フロー②と判断される鋼板の塗膜状況の例

一部の鋼板で塗膜の割れ等が確認されたが、劣化程度はフローの②程度であった。フロー②と判断される鋼板の塗膜状況の例（高浜 1， 2号機の特別点検で確認されたものではない。）を以下に示す。



（例）中塗りが見えている塗膜状況（円筒部内面）

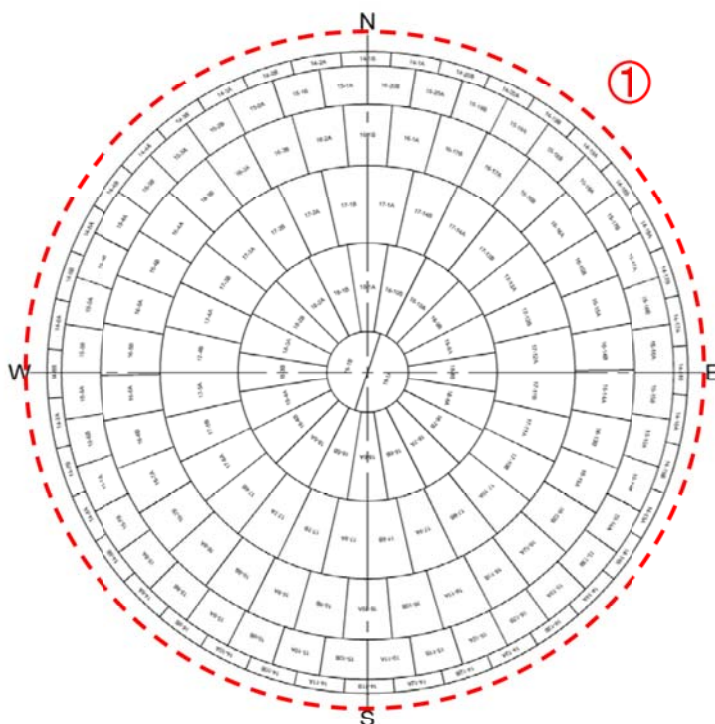


（例）下塗りが見えている塗膜状況（円筒部内面）

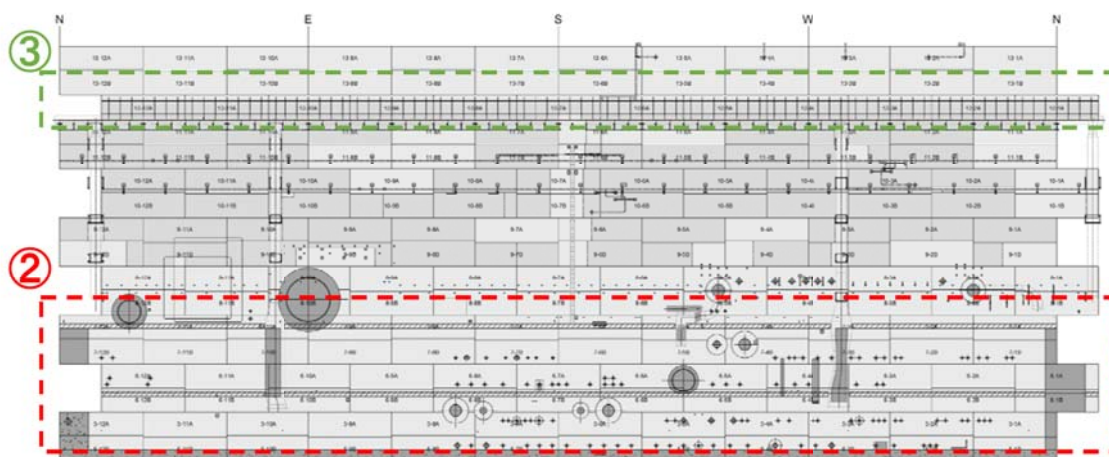
「塗膜の割れ等」が確認された範囲

○特別点検で塗膜の割れ等が確認された範囲は、「屋外」及び「屋内のうち、フロア・恒設足場が設置されている範囲」が大半であった。(下図①、②)

なお、円筒部内面のリングガーダ付近においては、上下の鋼板と比較して、塗膜の割れ等が比較的多い箇所が見られた。(下図③)



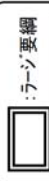
(例) 高浜 1 号機 半球部外面



(例) 高浜 1 号機 円筒部内面

| | | |
|-----|---|-------|
| No. | 高浜 1－共通－ 4 | 事象：共通 |
| 質 問 | <p>(別冊-共通) 日常劣化管理事象について、保全管理の実施に当たっての内容を明記した社内文書(文書体系を含む)及び社内実施体制を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>原子力発電所の保全では、系統・機器・構造物の経年劣化が徐々に進行して最終的に故障に至ることのないよう、定期的な検査や点検等により経年劣化の兆候を早期に検知し、必要な処置を行い、事故・故障を未然に防止しています。</p> <p>当社は、運転監視、巡視点検、定期的な検査および点検により設備の健全性を確認し、経年劣化等の兆候が認められた場合には詳細な調査および評価を行い、補修、取替等の保全を実施しています。特に長期の使用によって発生する経年劣化事象については、点検により経年的な変化の傾向を把握し、故障に至る前に計画的な保全を実施しています。</p> <p>具体的には、国が技術的な妥当性を評価し、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則 第 8 1 条第 1 項（当時は第 1 1 条第 1 項）に掲げる保守管理に係る要求事項を満たすものとなった「原子力発電所の保守管理規程（JEAC4209-2007）」に基づき、添付－ 1 に示す社内標準類を策定し、添付－ 2 の体制に従い保守管理を実施しています。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> | |

QMS社内標準体系図



(プラント運営部門他)
原子力発電本部(原子燃料部門を除く)、
原子力工業センター、
環境モニタリングセンター、
原子力運転サポートセンター、
総務室、購買室、土木建築室、
能力開発センター、
原子力研修センター、
原子燃料サイクル室(サイクル棟)G

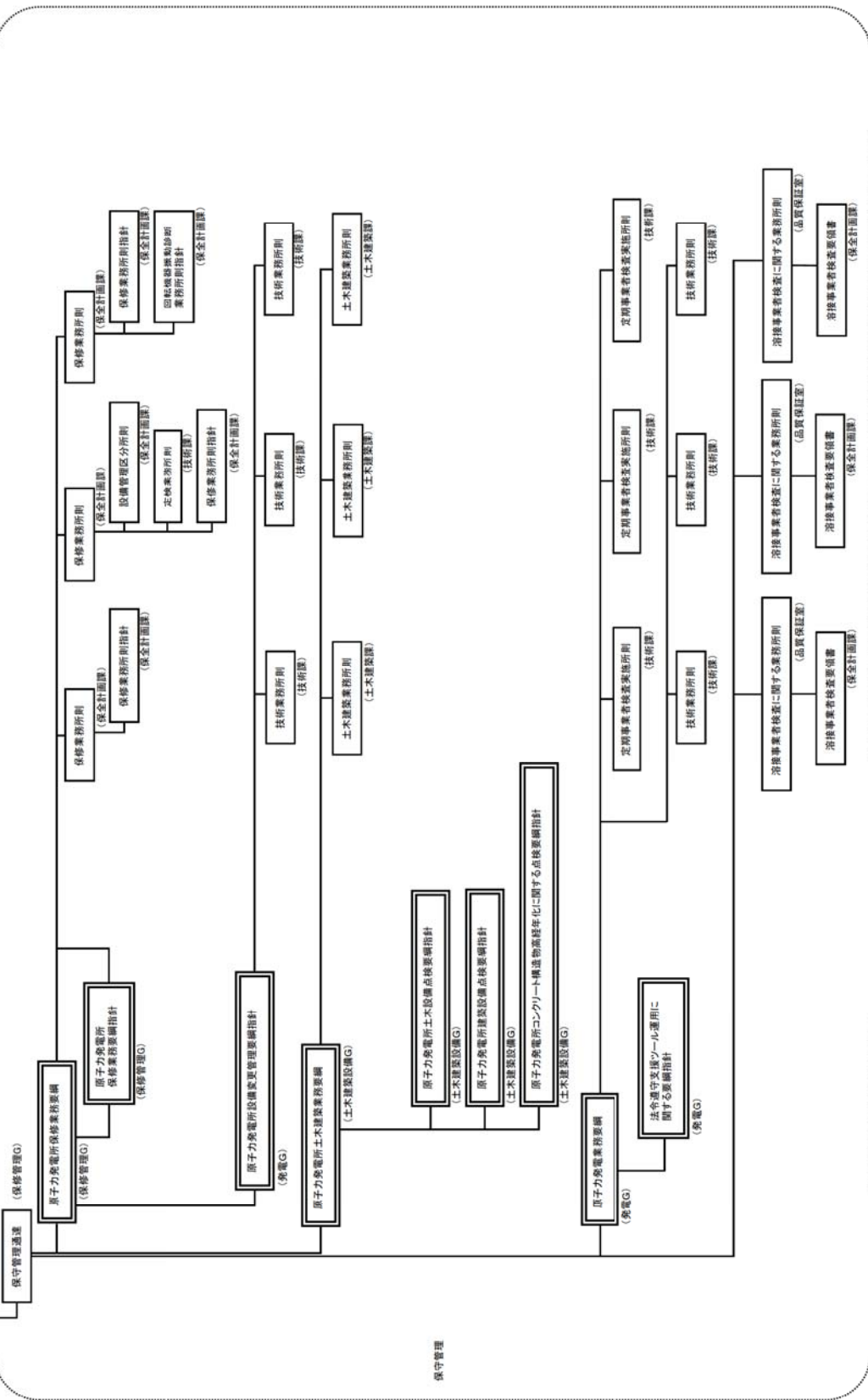
(原燃部門)
原子力事業本部(原子燃料部門、
原子燃料サイクル室(サイクル棟)Gを除く)

(経営監査室)

(大飯発電所)

(高浜発電所)

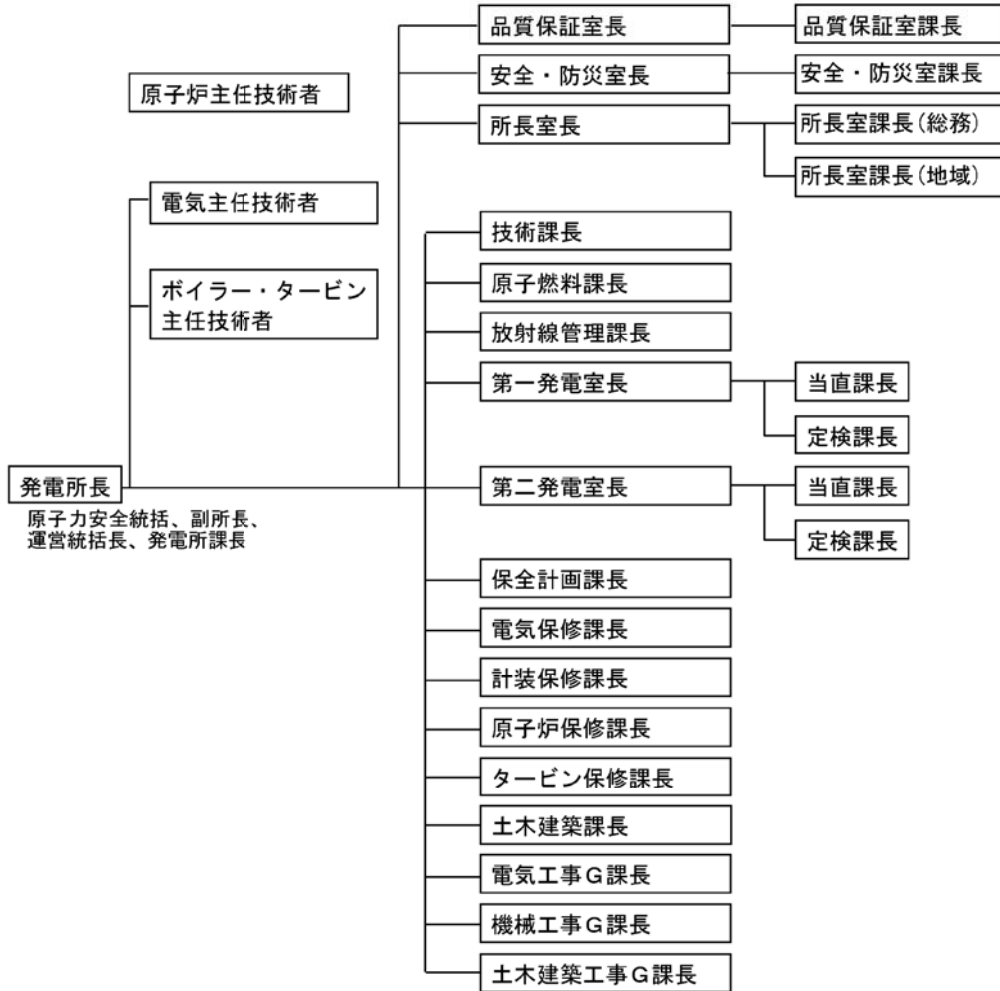
(美浜発電所)



保守管理

関西電力社内文書
「原子力発電の安全に係る品質保証規程」より抜粋

(高浜、大飯発電所)



G : 「グループ」の略

高浜発電所原子炉施設保安規定 5条 (保安に関する職務) より抜粋

- ・ 保全計画課長は、原子炉施設の保守、修理の総括に関する業務を行う。
- ・ 電気保修課長は、原子炉施設の電気設備に係る保守、修理 (電気工事グループ課長所管業務を除く。) に関する業務を行う。
- ・ 計装保修課長は、原子炉施設の計装設備に係る保守、修理 (電気工事グループ課長所管業務を除く。) に関する業務を行う。
- ・ 原子炉保修課長は、原子炉施設の機械設備 (タービン設備を除く。) に係る保守、修理 (機械工事グループ課長所管業務を除く。) に関する業務を行う。
- ・ タービン保修課長は、原子炉施設の機械設備 (タービン設備) に係る保守、修理 (機械工事グループ課長所管業務を除く。) に関する業務を行う。
- ・ 土木建築課長は、原子炉施設の土木設備および建築物に係る保守、修理 (機械工事グループ課長および土木建築工事グループ課長の所管業務を除く。) に関する業務を行う。

| | | |
|-----|---|-------|
| No. | 高浜 1－共通－ 5 | 事象：共通 |
| 質 問 | <p>(別冊-共通) 日常劣化管理事象について、各劣化事象について保全管理の実施状況を整理して提示すること。また、保全計画等による保全の有効性評価の実施状況、及びその活用結果の例について提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>その他の経年劣化事象のうち日常劣化管理事象（日常的な保守管理において時間経過に伴う特性変化に対応して劣化管理が確実に実施されている事象）については、下記に例示する点検を実施し、健全性を確認しています。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・点検により、現状及び今後の健全性について確認 例. ブレーキレンゾグ摩耗に対する摩耗量測定等 ・点検により、現状の健全性について把握 例. 機器の動作確認等 ・点検により、不具合の状況を確認 例. 割れに対する目視点検等 <p>なお、個別機器の保全内容はそれぞれ個々に検討しており、具体的には劣化メカニズム整理表やこれまでの保守管理の結果から得られた“機器の部位別に想定される劣化事象“に着目し、保全項目の検討を行い、検討結果に基づく保全内容を担保するために必要な作業、検査項目等を選定しており、高経年化技術評価書においては別冊にて記述しています。</p> <p>また、保全の有効性評価の実施状況の至近の状況およびその活用結果の例については、添付-1の通りとなります。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> | |

保全の有効性評価結果 (H26 年度評価) (2/12)

| | |
|-------------------------|--|
| JEAC4209 項目 | MC-15 保全の有効性評価 |
| 項目 | b-1. 保全データの推移および経年劣化の長期的な傾向監視の実績【点検手入れ前データ】 |
| 評価方法 | 点検毎に実施している点検手入れ前データの判定結果に基づく保全計画への反映状況を評価する。 |
| 評価基準 | 点検手入れ前データ評価結果からの保全計画への反映要否判断が妥当であること。 |
| 評価結果 | (1) 実施状況確認結果 取りまとめ：保全計画課 実施状況確認期間：1号機～4号機 平成 25 年 12 月 1日～平成 26 年 11 月 30 日 |
| (1)実施状況確認結果 | |
| (2)実施状況確認結果に 基づく評価方法 | |
| (3)評価結果 | |
| (4)改善のための提案 | |
| | (2) 実施状況確認結果に基づく評価方法 |

4/24

| | |
|------------|--------------------|
| | (3) 評価結果 |
| | |
| | (4) 改善のための提案 : なし |
| 備考 (資料番号等) | 資料 2 : 点検手入れ前データ実績 |

5/24

内は商業機密に属しますので公開できません

| | | |
|-----|---|-------|
| No. | 高浜 1－共通－ 8 | 事象：共通 |
| 質 問 | <p>(別冊-共通) 冷温停止を踏まえた評価で対象となる機器のうち、断続運転を前提とした場合よりも冷温停止の方が運転状態が厳しくなる機器及びその運転状態を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>冷温停止を踏まえた評価（燃料が炉心に装荷された状態のものを含む）で対象となる機器のうち、断続運転を前提とした場合よりも冷温停止の方が運転状態が厳しくなる機器およびその運転状態について、下記の通り提示いたします。</p> <p>○余熱除去ポンプモータ（固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下） 冷温停止時には断続運転を前提とした場合と比べ年間の運転時間が長くなりますが、固定子コイルおよび口出線・接続部品の劣化は当該モータ運転年数が長いほど進展するため、当該劣化事象は断続運転を前提とした場合より厳しくなると考えられます。</p> <p>しかしながら、機器の運転年数に基づき絶縁診断の周期を短縮することとしているため、冷温停止を前提とした場合においても、現状保全（定期的に絶縁診断を実施していくとともに、機器の運転年数と絶縁診断に基づいた取替を実施）を継続することで健全性を維持できると判断しています。</p> <p>○充てん/高圧注入ポンプ（主軸のフレットィング疲労割れ） 冷温停止時には化学体積制御系統の流量を低下させるため、充てん/高圧注入ポンプの吐出流量が低下するが、ポンプ回転数が同じ場合、主軸にかかる応力は吐出流量が少ないほど大きくなるため、当該劣化事象は断続運転を前提とした場合より厳しくなると考えられます。</p> <p>しかしながら、ポンプ流量が少なくなることを考慮しても、ポンプの曲げ応力振幅は疲労限に対し小さく、主軸のフレットィング疲労割れ発生の可能性は小さいことを確認しており、健全性を維持できると判断しています。</p> <p>また、当該経年劣化事象は、以上を踏まえて、運転を前提とした評価と同様、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない（▲事象）と判断しています。</p> | |

○充てん水流量制御弁（弁体、弁座等の腐食（エロージョン））

冷温停止中は運転中と比べて原子炉圧力が低くなるため、当該制御弁は弁前後で差圧が大きい状態で使用されます。このためキャビテーションが起りやすい状況となっているため当該劣化事象は断続運転を前提とした場合より厳しくなると考えられます。

しかしながら、当該弁に関して、冷温停止状態を踏まえた（厳しくなる劣化傾向を踏まえた）保全を行なうこととしており、現状保全を継続することで健全性を維持できると判断しています。

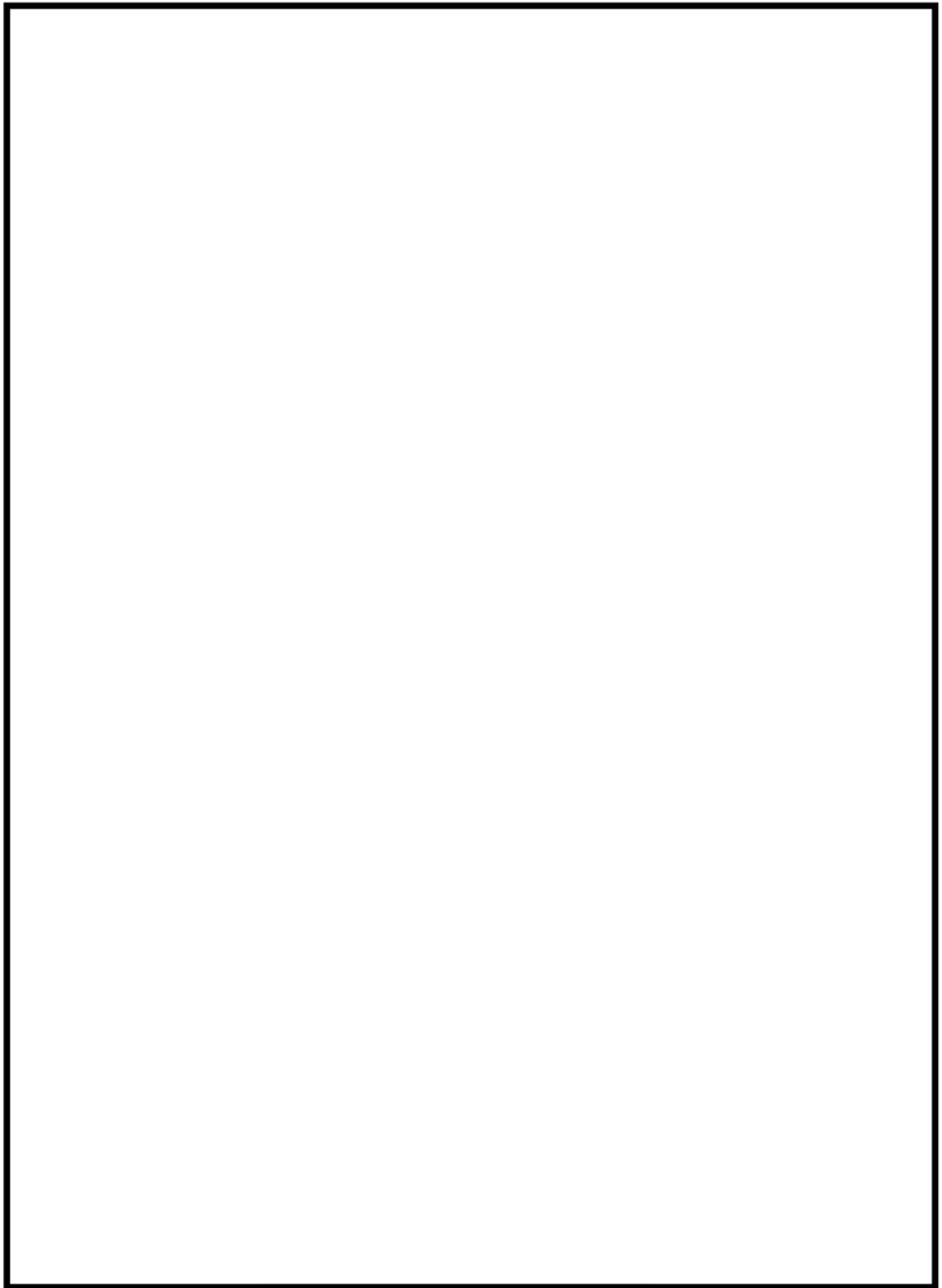
また、当該経年劣化事象は、以上を踏まえて、運転を前提とした評価と同様、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない（△事象）と判断しています。

以上

| | | |
|-----|---|-------|
| No. | 高浜 1－低サイクル疲労－ 2 | 事象：疲労 |
| 質 問 | <p>(本冊-4.2.3経年劣化事象の抽出-29頁)</p> <p>運転経験により建設時考慮されていない有意な低サイクル応力変動(熱成層等)が把握された部位およびそれを抽出したプロセスを整理して提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>高経年化技術評価書で想定している経年劣化事象については、評価対象機器の使用条件(型式、材料、環境条件等)を考慮し、これまでの高経年化技術評価で想定されている部位と経年劣化事象の組合せを取り纏めた日本原子力学会標準「原子力発電所の高経年化対策実施基準」附属書A(規定)「経年劣化メカニズムまとめ表」を参考に抽出します。</p> <p>さらに、前述のまとめ表作成以降の知見については、それ以降に認可されたPLM評価書を参考にするとともに、国内外の新たな運転経験及び最新知見についても、以下に示すとおり継続的に劣化状況評価への影響を整理し、技術評価への反映要否を判断します。</p> <p>1. 運転経験</p> <p>国内運転経験として、原子力安全推進協会が運営している原子力発電情報公開ライブラリーにおいて公開されている「トラブル情報」、「保全品質情報」を、海外運転経験として、NRC(米国原子力規制委員会; Nuclear Regulatory Commission)のBulletin(通達)、Generic Letter及びInformation Noticeを対象としてスクリーニングを実施。期間中の情報において、新たに劣化状況評価書に反映すべき運転経験を抽出する。</p> <p>2. 最新知見</p> <p>原子力規制委員会文書、日本機械学会、日本電気協会、日本原子力学会の規格・基準類、並びに原子力規制委員会のホームページに公開されている試験研究の情報等を検討し、劣化状況評価を実施する上で、新たに反映が必要な知見を抽出する。</p> <p>例えば、運転経験により建設時考慮されていない蒸気発生器給水入口管台の疲労(熱成層)については、上述の「原子力発電所の高経年化対策実施基準」附属書A(規定)「経年劣化メカニズムまとめ表」で疲労想定部位として抽出され、附属書E「経年劣化事象一覧表」にて熱成層が生じる場所において想定要となっています。熱成層が想定される部位としては、日本機械学会基準「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」においても損傷事例として記載されていることから、事象として抽出し技術評価しています。</p> | |

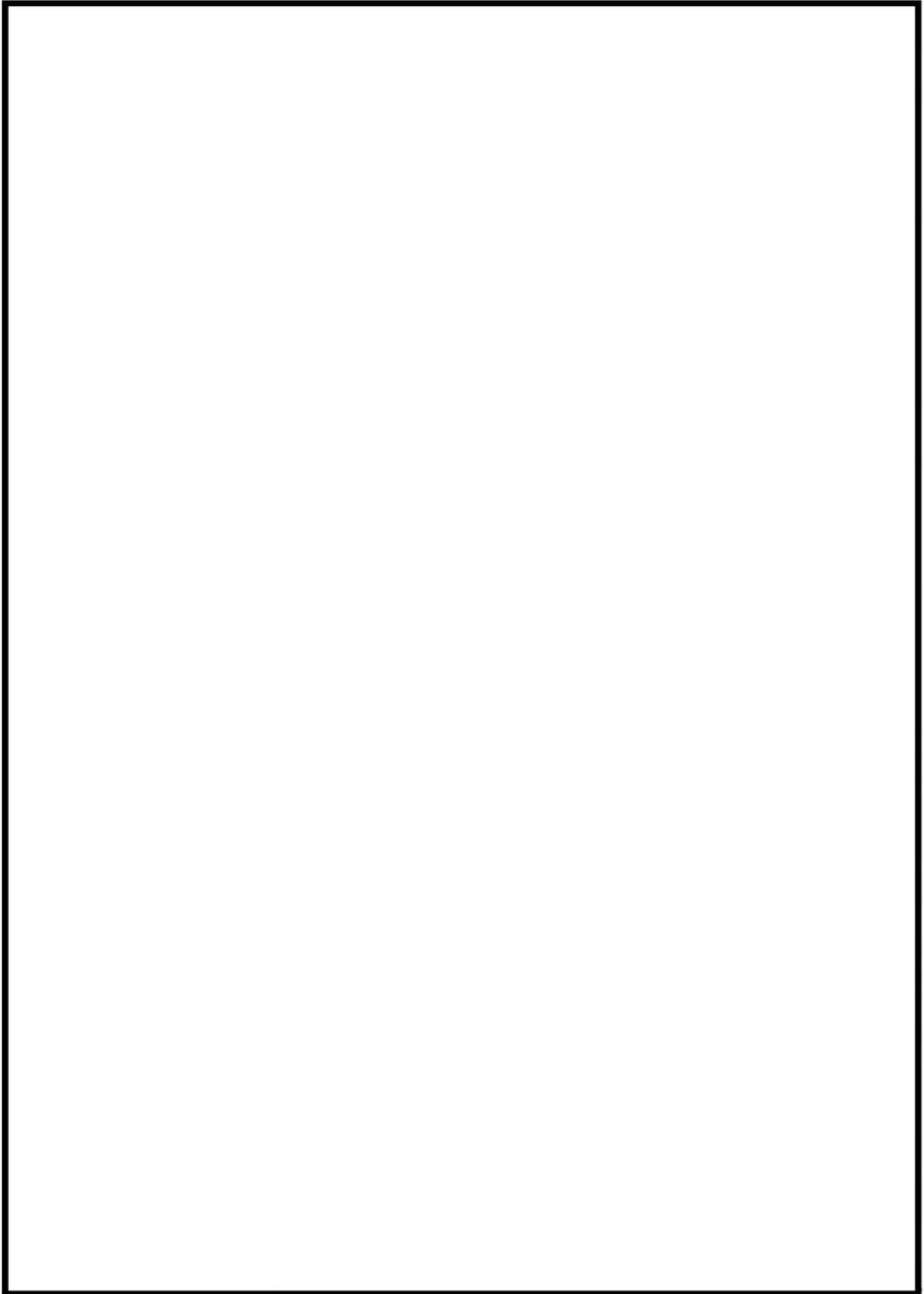
| No. | 高浜 1－低サイクル疲労－ 4 | 事象：疲労 | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|-----------|----|--------|--|------------|---------|--|--|-----------|----|--------|-----------|-------------------------|
| 質 問 | <p>(別冊-1 ポンプ-2 一次冷却材ポンプ-10 頁) 一次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke 係数、環境評価パラメータを含む)を提示すること。</p> | | | | | | | | | | | | | |
| 回 答 | <p>1 次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠を以下に示します。</p> <p>1. 解析モデル 添付 1 に解析モデルを示します。</p> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示します。</p> <table border="1" data-bbox="464 898 1327 1122"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>S m (MP a)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td></td> <td>2 8 8 . 6</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点及び最大評価点の選定結果を、添付 2 に示します。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示します。また、応力評価のフローを添付 3 に示します。</p> <table border="1" data-bbox="429 1451 1366 1624"> <thead> <tr> <th>状態</th> <th>荷重の組合せ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>供用状態 A, B</td> <td>圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過度荷重</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke 係数 評価に用いた Ke 係数を添付 4 に示します。</p> <p>6. 環境評価パラメータ 評価に用いた環境評価パラメータ (環境効果補正係数 fen) を添付 4 に示します。</p> | | 材料 | 設計応力強さ | | S m (MP a) | 温度 (°C) | | | 2 8 8 . 6 | 状態 | 荷重の組合せ | 供用状態 A, B | 圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過度荷重 |
| 材料 | 設計応力強さ | | | | | | | | | | | | | |
| | S m (MP a) | 温度 (°C) | | | | | | | | | | | | |
| | | 2 8 8 . 6 | | | | | | | | | | | | |
| 状態 | 荷重の組合せ | | | | | | | | | | | | | |
| 供用状態 A, B | 圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過度荷重 | | | | | | | | | | | | | |

内は商業機密に属しますので公開できません



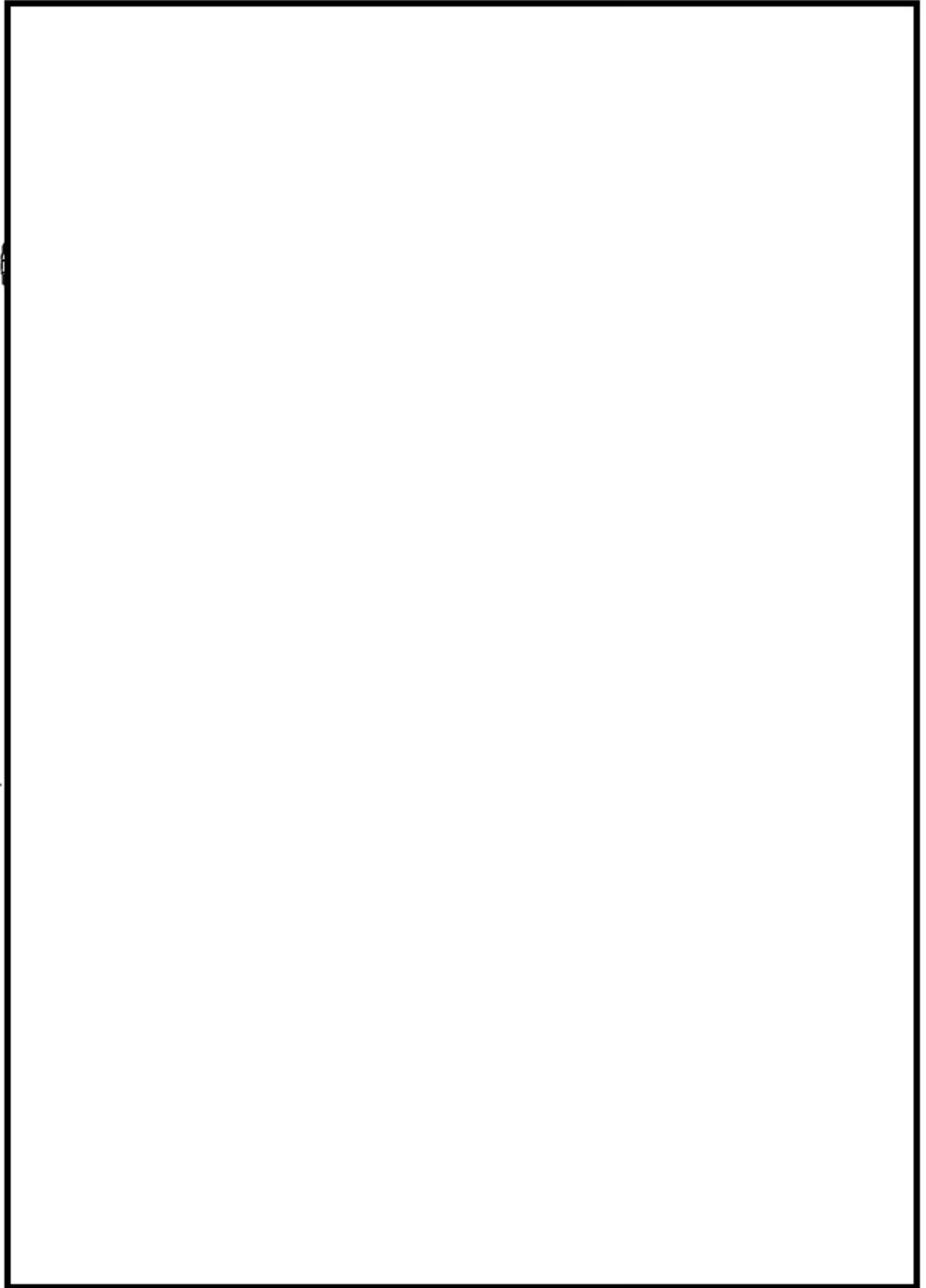
1次冷却材ポンプケーシング 解析モデル

内は商業機密に属しますので公開できません



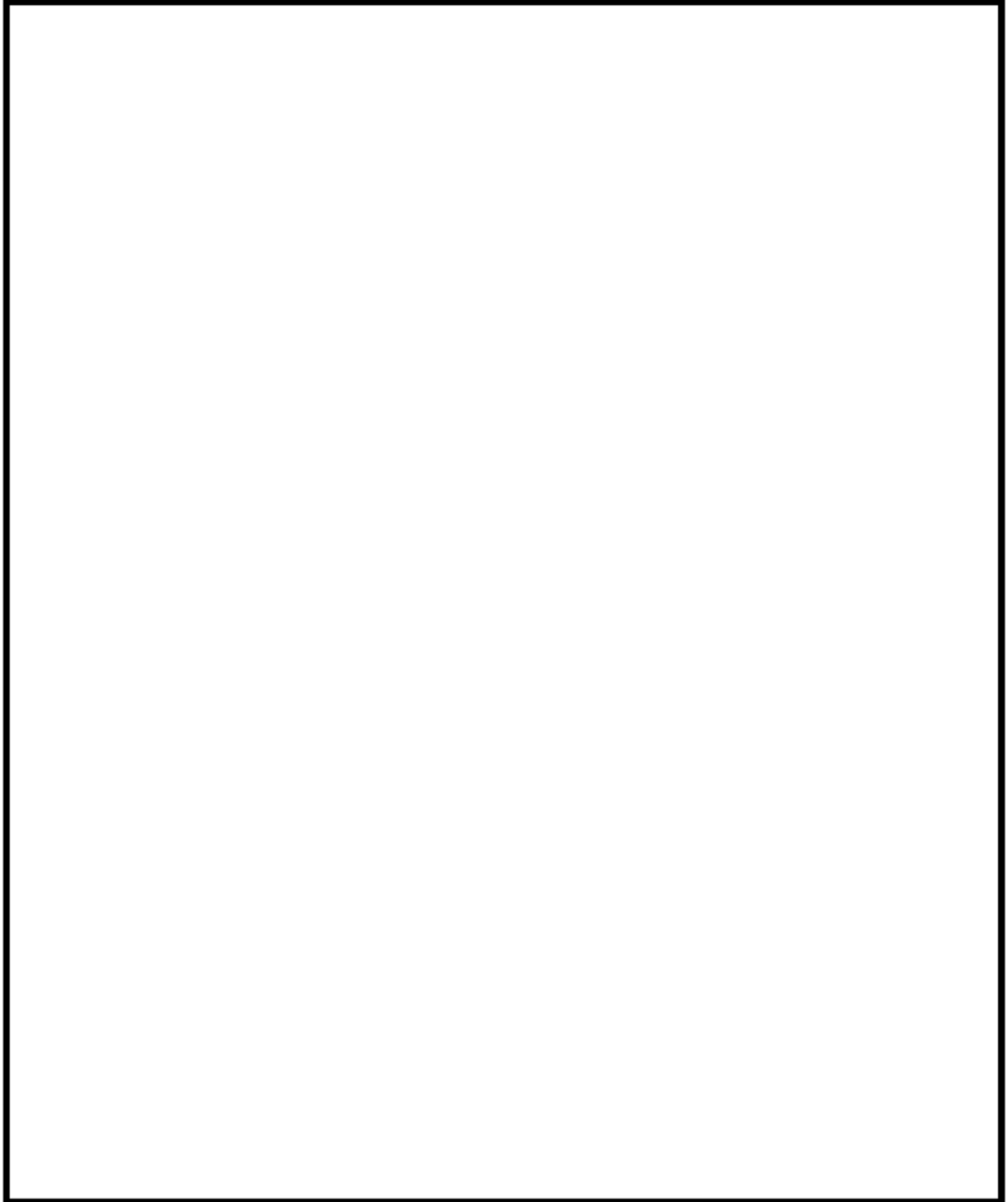
1次冷却材ポンプケーシング 評価点 (1/5)

内は商業機密に属しますので公開できません

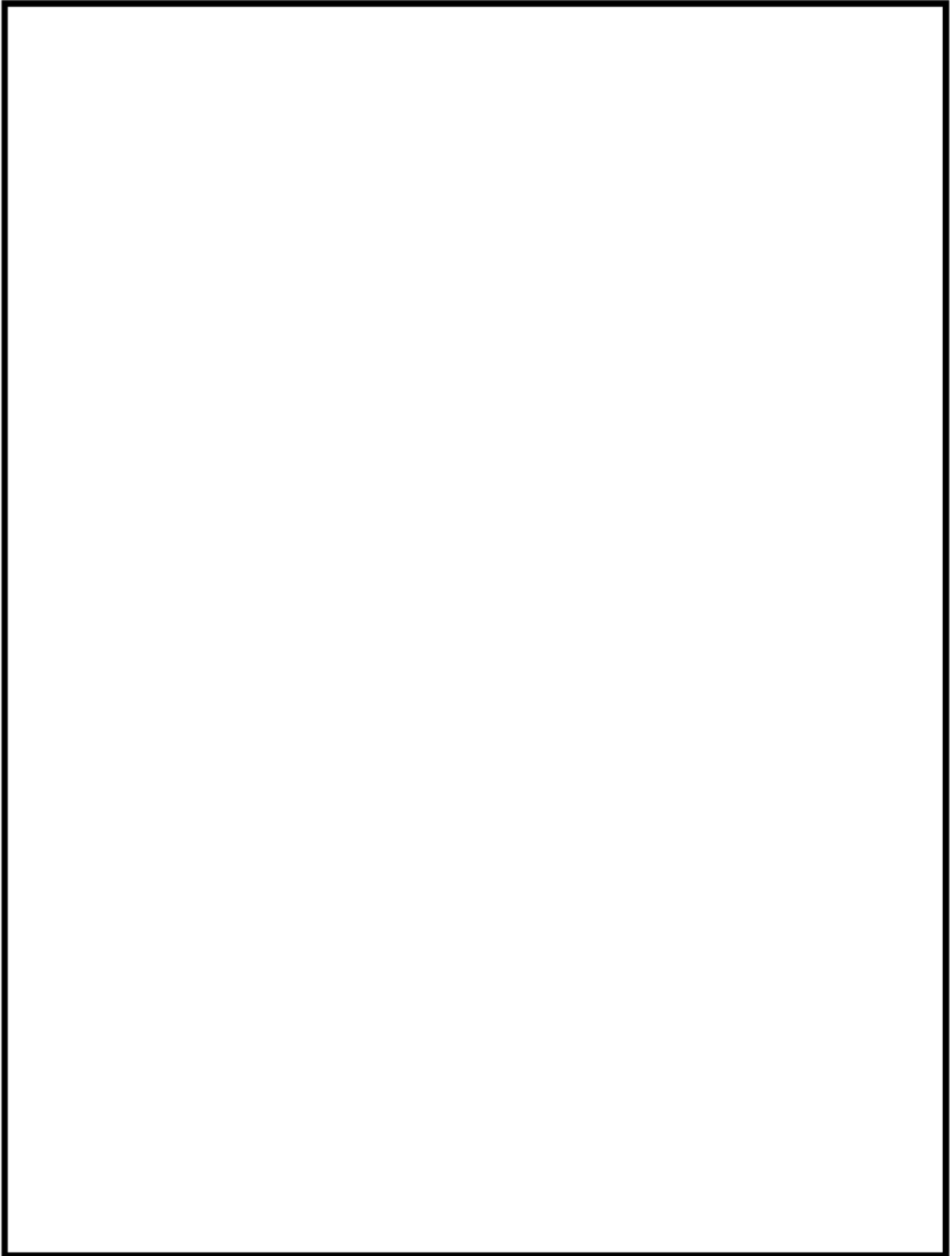


1次冷却材ポンプケーシング 評価点 (2/5)

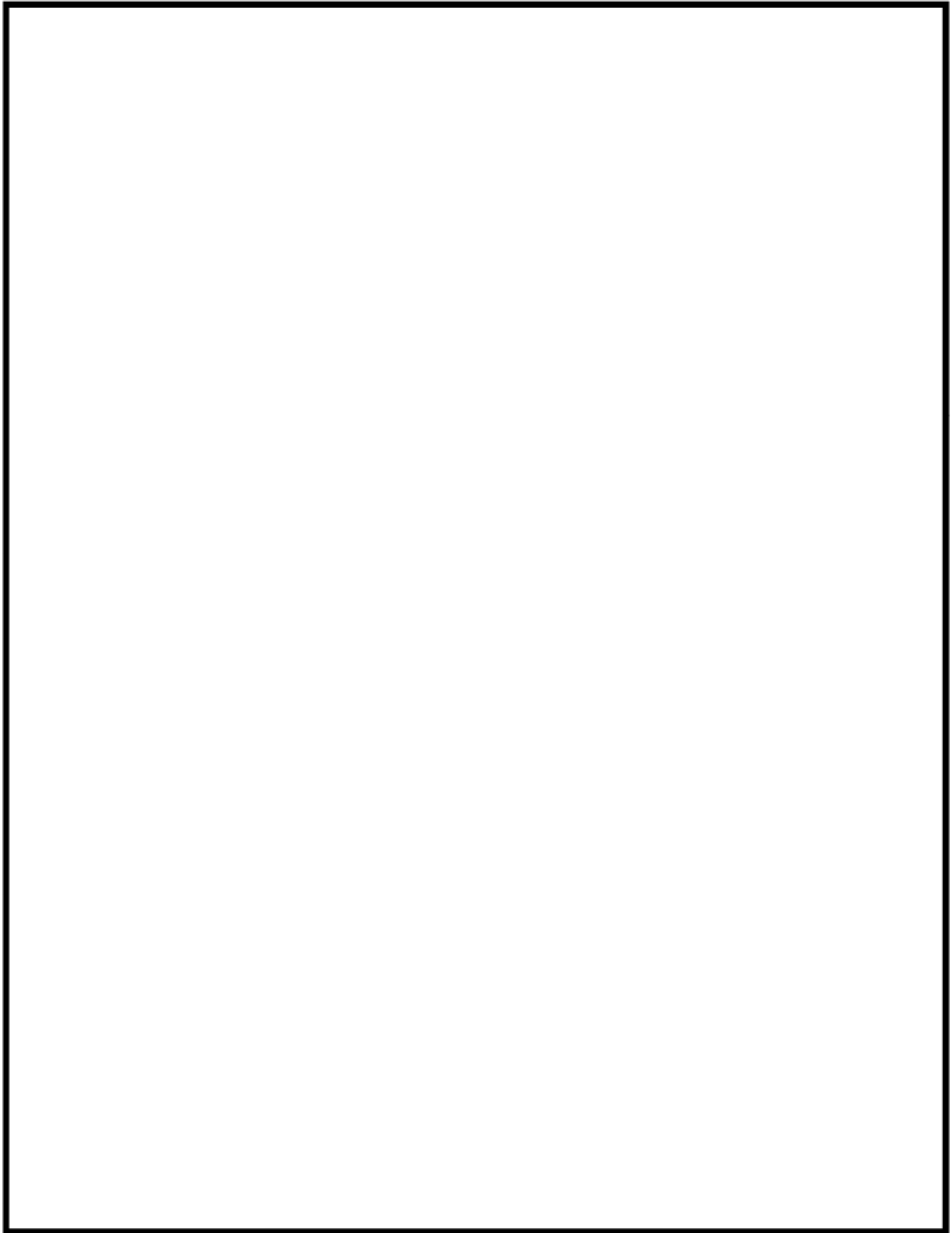
内は商業機密に属しますので公開できません



1次冷却材ポンプケーシング 評価点 (3/5)



1次冷却材ポンプケーシング 評価点 (4/5)



1次冷却材ポンプケーシング 評価点 (5/5)

内は商業機密に属しますので公開できません

1次冷却材ポンプケーシング 最大疲労評価点の選定 (吸込ノズル)

| Location | | Usage Factor | | |
|----------|-----|--------------|-------|---------|
| | | S1-S2 | S2-S3 | S3-S1 |
| 45882 | IN | | | |
| 45946 | OUT | | | |
| 48704 | IN | | | 0.00012 |
| 48728 | OUT | | | |
| 60234 | IN | | | |
| 62173 | OUT | | | |
| 61057 | IN | | | |
| 58036 | OUT | | | |

吸込ノズル疲労評価結果 (評価点 : 48704)

| STRESS INTENSITY | | NUMBER OF CYCLES | | USAGE FACTOR |
|------------------|---------|------------------|----|--------------|
| MAXIMUM | MINIMUM | N | N* | |
| | KE | ALT | | |

TOTAL = | 0.00012 |

→通常 UF : 0.001

1 次冷却材ポンプケーシング 最大疲労評価点の選定 (吐出ノズル)

| Location | | Usage Factor | | |
|----------|-----|--------------|---------|-------|
| | | S1-S2 | S2-S3 | S3-S1 |
| 6003 | IN | | 0.02198 | |
| 6016 | OUT | | | |
| 57367 | IN | | | |
| 58927 | OUT | | | |
| 59977 | IN | | | |
| 59150 | OUT | | | |
| 60337 | IN | | | |
| 58858 | OUT | | | |
| 60786 | IN | | | |
| 59125 | OUT | | | |

吐出ノズル疲労評価結果 (評価点 : 6003)

| STRESS INTENSITY | | | | NUMBER OF CYCLES | | USAGE |
|------------------|---------|----|-----|------------------|----|--------|
| MAXIMUM | MINIMUM | KE | ALT | N | N* | FACTOR |
| | | | | | | |

TOTAL = | 0.02198 |

→通常 UF : 0.022

内は商業機密に属しますので公開できません

1 次冷却材ポンプケーシング 最大疲労評価点の選定 (支持脚 (1))

| Location | | Usage Factor | | |
|----------|-----|--------------|-------|-------|
| | | S1-S2 | S2-S3 | S3-S1 |
| 57546 | IN | | | |
| 58075 | OUT | | | |
| 59214 | IN | | | |
| 58270 | OUT | | | |
| 59813 | IN | | | |
| 59101 | OUT | | | |
| 61124 | IN | | | |
| 58316 | OUT | | | |
| 557546 | IN | | | |
| 558075 | OUT | | | |
| 559310 | IN | | | |
| 558071 | OUT | | | |

1 次冷却材ポンプケーシング 最大疲労評価点の選定 (支持脚 (2))

| Location | | Usage Factor | | |
|----------|-----|--------------|-------|-------|
| | | S1-S2 | S2-S3 | S3-S1 |
| 57825 | IN | | | |
| 61374 | OUT | | | |
| 59238 | IN | | | |
| 58921 | OUT | | | |
| 59737 | IN | | | |
| 58792 | OUT | | | |
| 59889 | IN | | | |
| 58507 | OUT | | | |

1 次冷却材ポンプケーシング 最大疲労評価点の選定 (支持脚 (3))

| Location | | Usage Factor | | |
|----------|-----|--------------|---------|-------|
| | | S1-S2 | S2-S3 | S3-S1 |
| 557825 | IN | | | |
| 561374 | OUT | | 0.23487 | |
| 559238 | IN | | | |
| 558921 | OUT | | | |
| 559737 | IN | | | |
| 558792 | OUT | | | |
| 559889 | IN | | | |
| 558507 | OUT | | | |

支持脚 (3) 疲労評価結果 (評価点 : 561374)

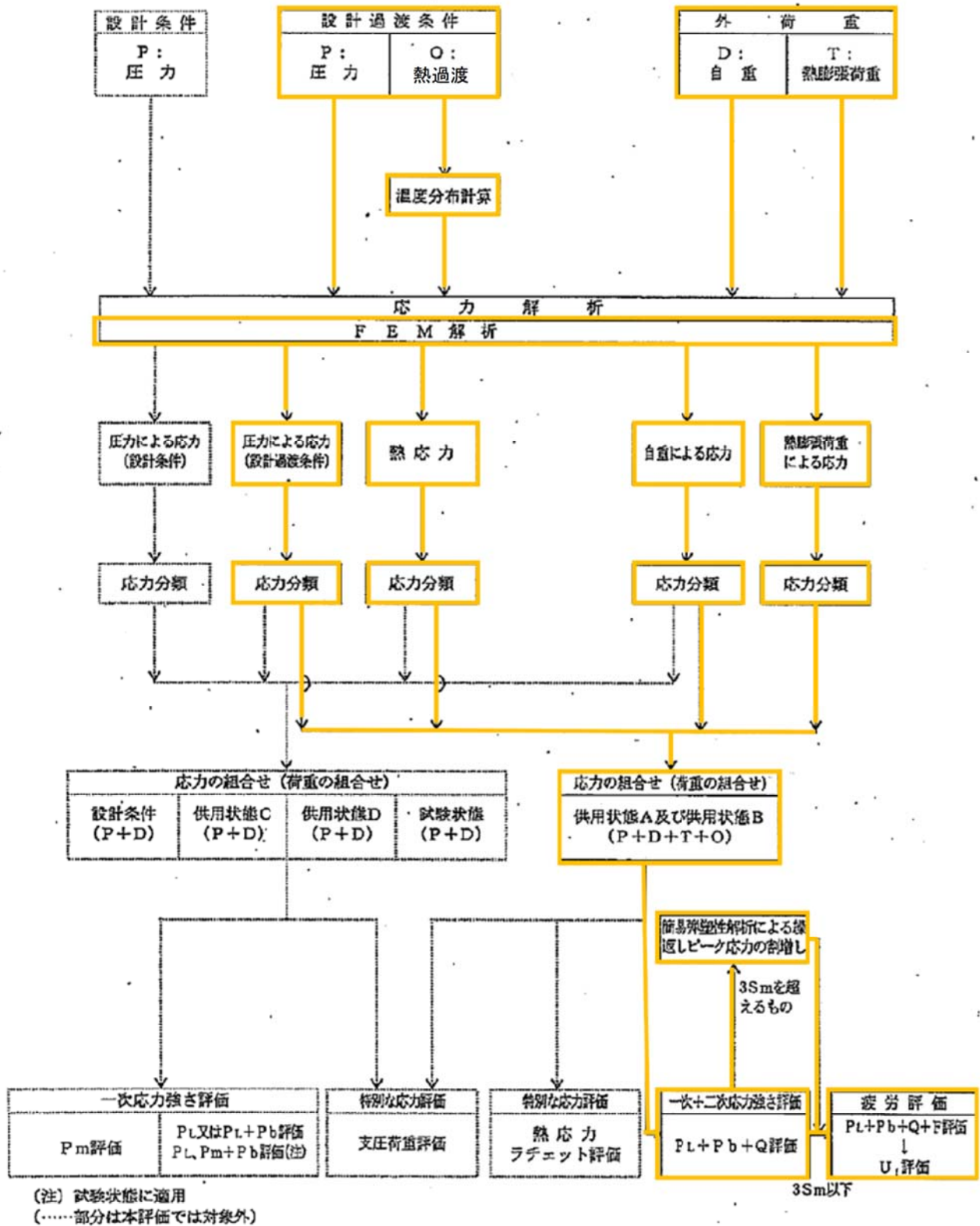
| STRESS INTENSITY | | | | NUMBER OF CYCLES | | USAGE |
|------------------|---------|----|-----|------------------|----|--------|
| MAXIMUM | MINIMUM | KE | ALT | N | N* | FACTOR |
| | | | | | | |

TOTAL = | 0.23487 |

→通常 UF : 0.235

内は商業機密に属しますので公開できません

応力評価フロー



Ke係数と環境疲労パラメータ (吸込ノズル 評価点 48704) (詳細評価手法)

| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 | 繰返しピーク 応力強さ | | 突過渡 回数 | 許容繰返し 回数 | 疲労累積係数 | 環境効果 補正係数 | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 |
|---|---|-------------------|------|------------|----------------|-------------|-----------|-------------|--------|--------------|---------------------|
| A | B | smax | smin | | XE | 補正前 salt | | | | | |
| <div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> | | | | | | | | | | | |
| 合計: | | | | | | | | | | 0.00035 | |

→環境 UF : 0.001

内は商業機密に属しますので公開できません

Ke 係数と環境疲労パラメータ (吐出ノズル 評価点 6003) (詳細評価手法)

| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 KE | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 n | 許容繰返し 回数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen |
|---|---|-------------------|------|------------------|----------------|--------------|----------------|-------------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| A | B | smax | smin | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| <div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> | | | | | | | | | | | |
| 合計 : | | | | | | | | | | 0.33620 | |

→環境 UF : 0.337

内は商業機密に属しますので公開できません

Ke 係数と環境疲労パラメータ (支持脚 評価点 59737) (詳細評価手法)

| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割増し 係数 KE | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 n | 許容繰返し 回数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen |
|------------|---|-------------------|------|-----------------|----------------|--------------|----------------|-------------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| A | B | smax | smin | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 合計 : | | | | | | | | | | 0.12994 | |

→環境 UF : 0.130

内は商業機密に属しますので公開できません

環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

(1) 吸込ノズル

a. 過渡 2I1,2D3



b. 過渡 2I1,2G1



(2) 吐出ノズル

a. 過渡 2D3,1A1



b. 過渡 1B1,1A1



c. 過渡 1B1,2I1



d. 過渡 2G1,2I1



e. 過渡 2I2,2I1



(3) 支持脚

a. 過渡 2D3,1A1



b. 過渡 1B1,1A1



c. 過渡 1B1,2I1



d. 過渡 2G1,2I1



e. 過渡 2I2,2I1



| No. | 高浜 1 - 低サイクル疲労 - 5 | 事象：疲労 | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|----------------------|---------|----|------|--------|--|----------------------|---------|--|--|--|-------|----|--------|----------|--------|
| 質 問 | <p>(別冊-2熱交換器-1多管円筒形熱交換器-49頁) 再生クーラ及び余熱除去クーラの管板の疲労累積係数の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke係数、環境評価パラメータ、伝熱管最外周部の穴周りの応力算出法を含む)を提示すること。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 回 答 | <p>再生クーラおよび余熱除去クーラの管板の疲労累積係数の算出根拠を以下に示します。</p> <p>【再生クーラ】</p> <p>1. 解析モデル 添付1に解析モデルおよび評価点を示します。</p> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示します。</p> <table border="1" data-bbox="443 1070 1337 1361"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材料</th> <th rowspan="2">使用部位</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>S_m (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3" style="background-color: #cccccc;"> </td> <td>290.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点及び最大評価点の選定結果を、添付2に示します。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示します。また、応力評価のフローを添付3に示します。</p> <table border="1" data-bbox="424 1787 1359 1957"> <thead> <tr> <th>状態</th> <th>荷重の組合せ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>供用状態 A、B</td> <td>内圧+熱過渡</td> </tr> </tbody> </table> | | | 材料 | 使用部位 | 設計応力強さ | | S _m (MPa) | 温度 (°C) | | | | 290.0 | 状態 | 荷重の組合せ | 供用状態 A、B | 内圧+熱過渡 |
| 材料 | 使用部位 | 設計応力強さ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | S _m (MPa) | 温度 (°C) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 290.0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 状態 | 荷重の組合せ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 供用状態 A、B | 内圧+熱過渡 | | | | | | | | | | | | | | | | |

 内は商業機密に属しますので公開できません

5. Ke係数および環境評価パラメータ

評価に用いたKe係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数fen）を添付4に示します。

【余熱除去クーラ】

6. 解析モデル

添付5に解析モデルおよび評価点を示します。

7. 材料物性

材料物性値を以下に示します。

| 材料 | 使用部位 | 設計応力強さ | |
|----|------|----------|---------|
| | | Sm (MPa) | 温度 (°C) |
| | | | 95.0 |
| | | | 95.0 |
| | | | 200.0 |

8. 最大評価点の選定

解析モデル上の評価点及び最大評価点の選定結果を、添付6に示します。

9. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示します。また、応力評価のフローを添付3に示します。

| 状態 | 荷重の組合せ |
|---------|----------------|
| 供用状態A、B | 内圧+ボルトの締付力+熱過渡 |

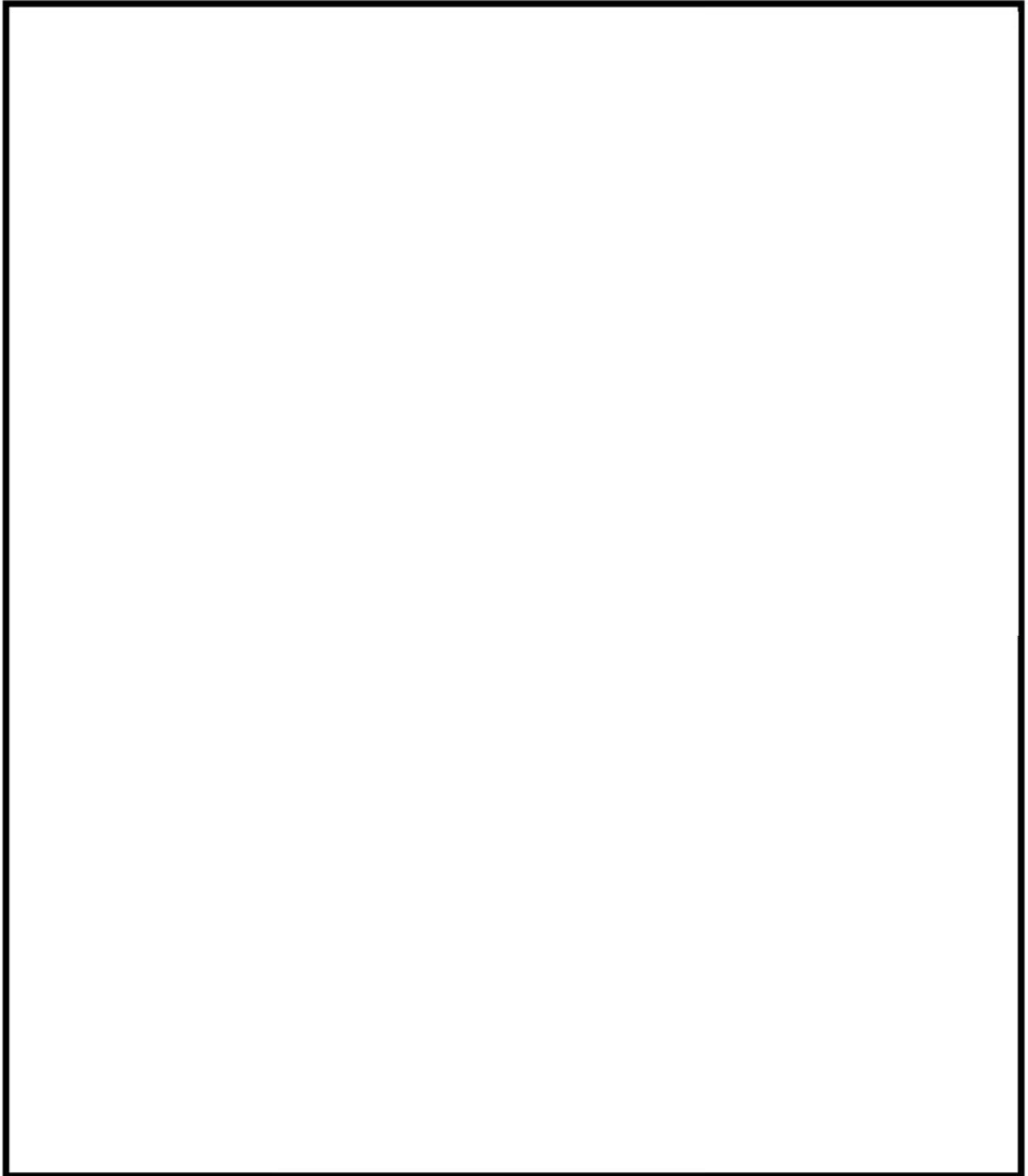
10. Ke係数および環境評価パラメータ

評価に用いたKe係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数fen）を添付7に示します。

11. 伝熱管最外周部の穴周りの応力算出法

伝熱管最外周部の穴周りの応力算出法については添付8に示します。

内は商業機密に属しますので公開できません



再生クーラ 解析モデルおよび評価点

内は商業機密に属しますので公開できません

再生クーラ 最大疲労評価点の選定

(疲れ累積係数除く)

| 評価点 | | | 一次+二次応力強さ | 疲れ累積係数 |
|-----|----|----|-----------|--------|
| 管板部 | 1 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 2 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 3 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 4 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| 一般部 | 5 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 6 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 7 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 8 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 9 | 入口 | (0.17367) | |
| | | 出口 | | |
| | 10 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 11 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |

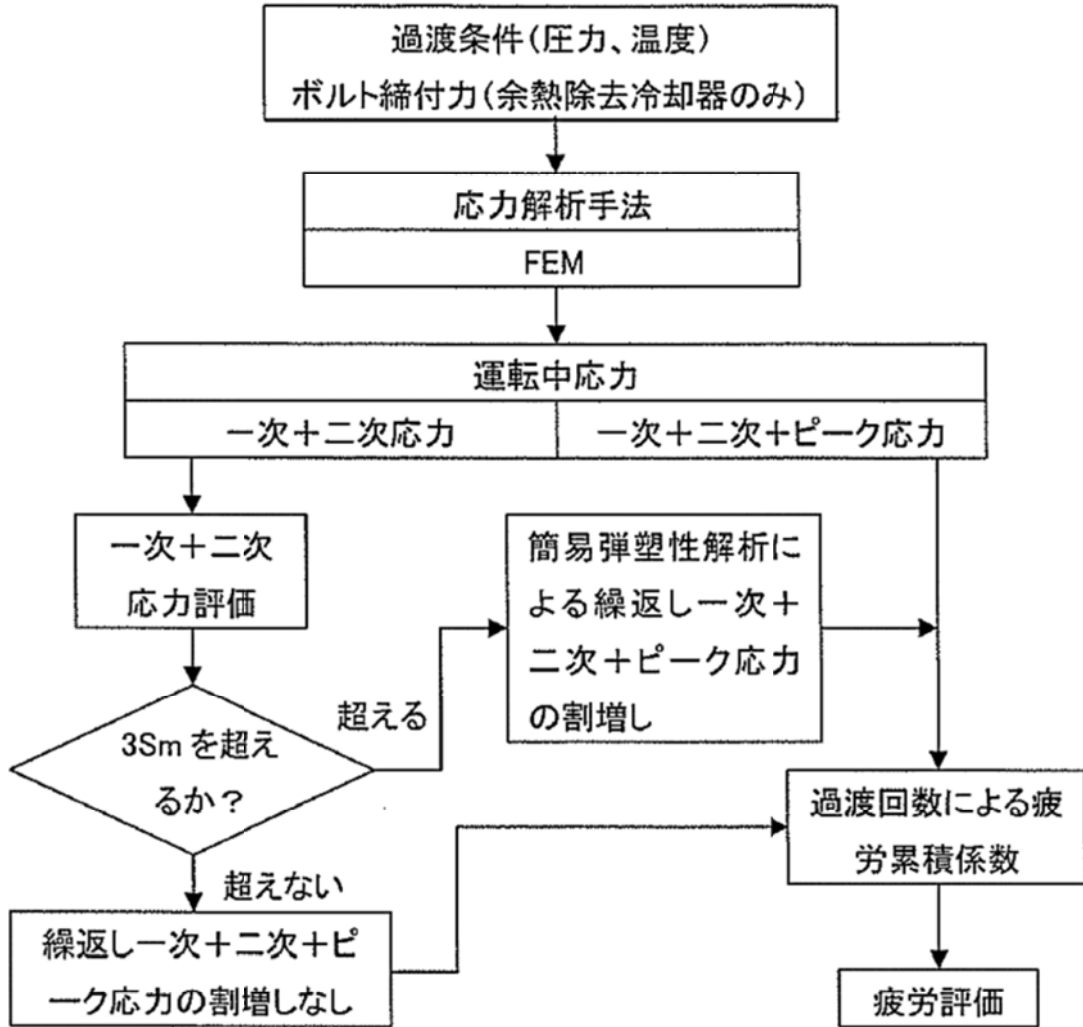
注) 1. ()はそれぞれの部位での最大値を示す。

→通常UF : 0.174

2. 評価点における入口と出口とは評価に用いる過渡の入口側と出口側のことを示す。

内は商業機密に属しますので公開できません

応力評価フロー



Ke係数と環境疲労パラメータ (再生クォーラ) (詳細評価手法)

| 過渡条件 記号 | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 KE | 繰返しピーク 応力強さ | | 応過派 回数 n | 許容繰返し 回数 nz | 疲労累積係数 U | 環境効果 補正係数 f _{en} | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 u _{en} |
|---|-------------------|------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|----------------|-------------------|-------------|---------------------------------|--|
| | s _{max} | s _{min} | | 補正前 s _{all} | 補正後 s _{all'} | | | | | |
| A | | | | | | | | | | |
| B | | | | | | | | | | |
| <div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 合計: | 0.22156 |
| | | | | | | | | | | →環境UF: 0.222 |
| | | | | | | | | | | →通常UF: 0.174 |
| | | | | | | | | | | 合計: 0.17367 |
| | | | | | | | | | | →通常UF: 0.174 |

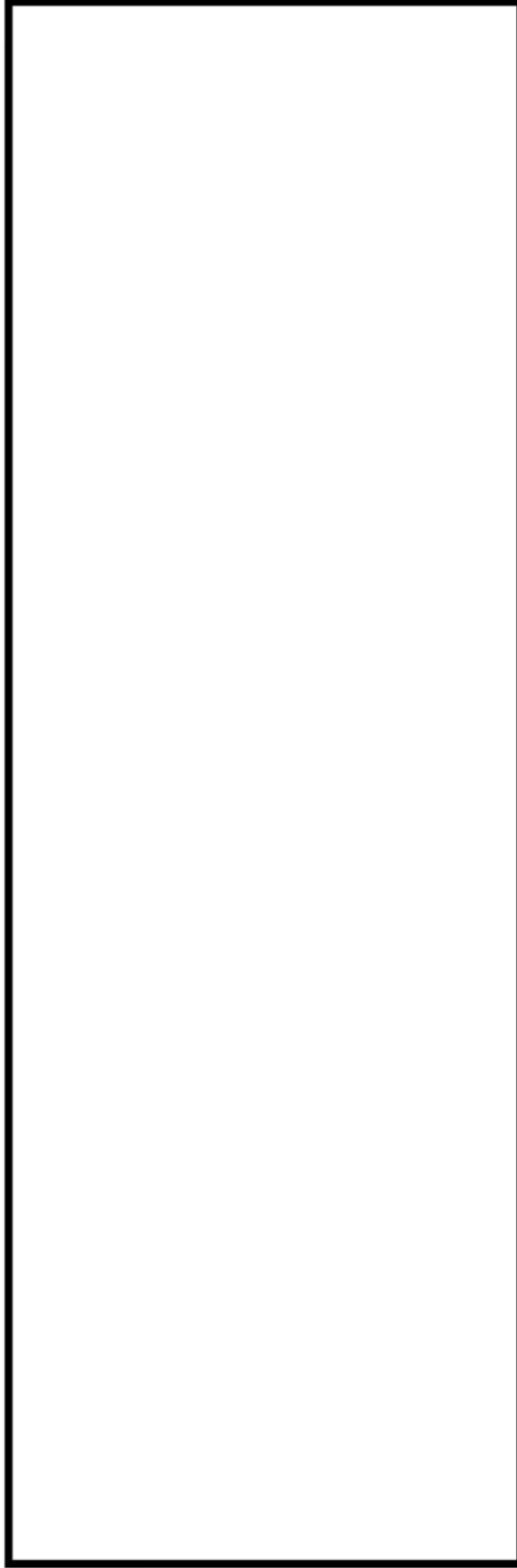
内は商業機密に属しますので公開できません

環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

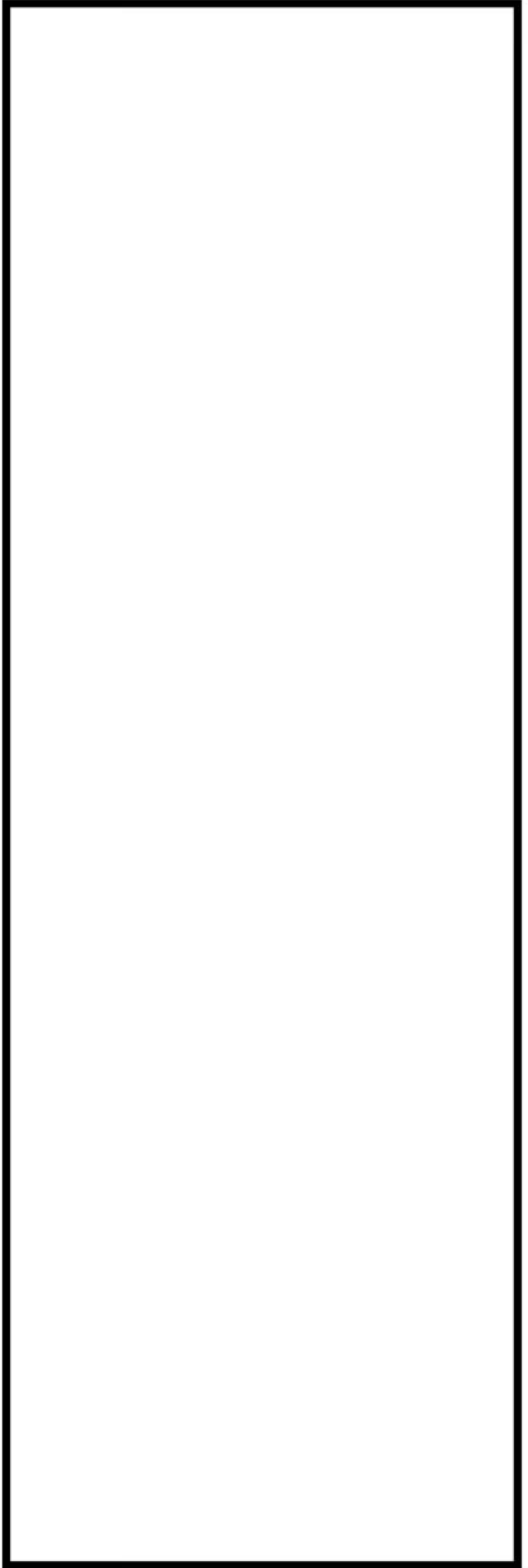
環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

(1) 再生クォーラ

a. 過渡1H1,1F2



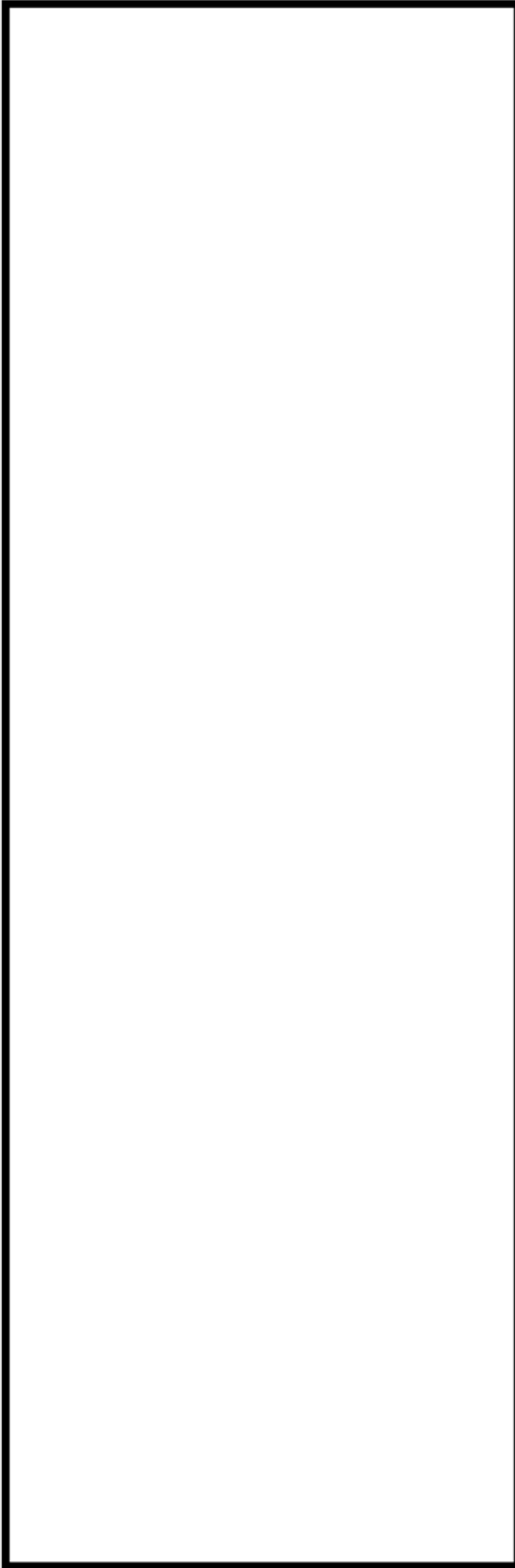
b. 過渡1I1,1G1



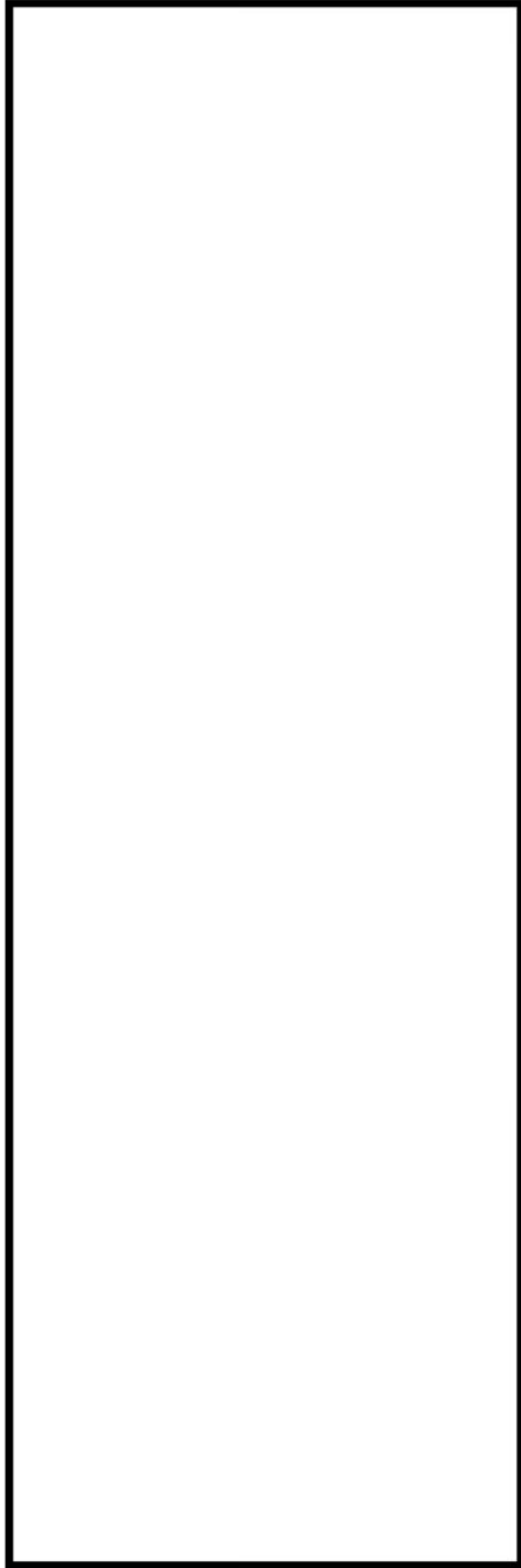
内は商業機密に属しますので公開できません



c. 過渡NSS,1G1

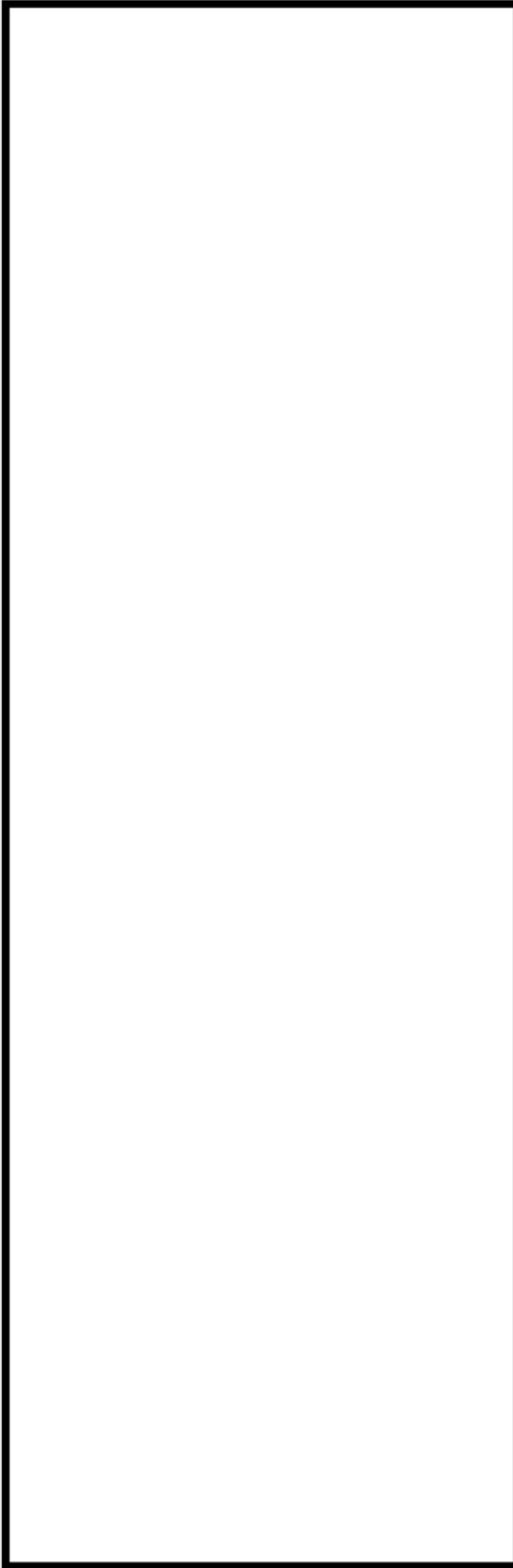


d. 過渡NSS,1D2

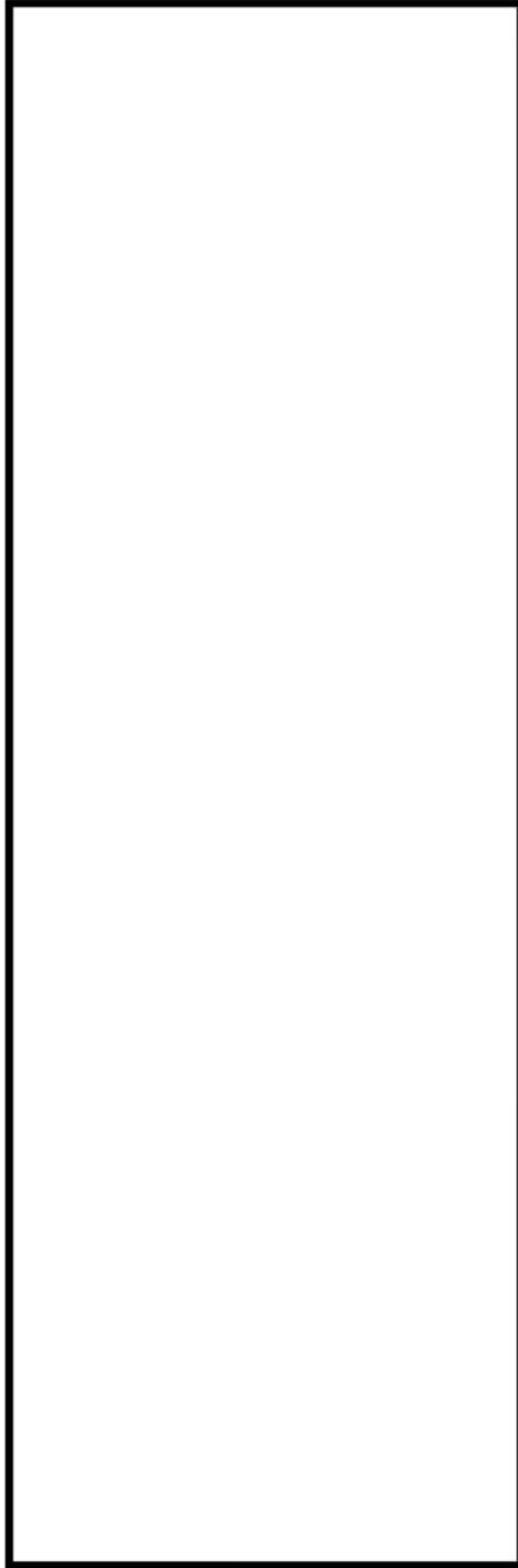


内は商業機密に属しますので公開できません

e. 過渡NSS,1E1

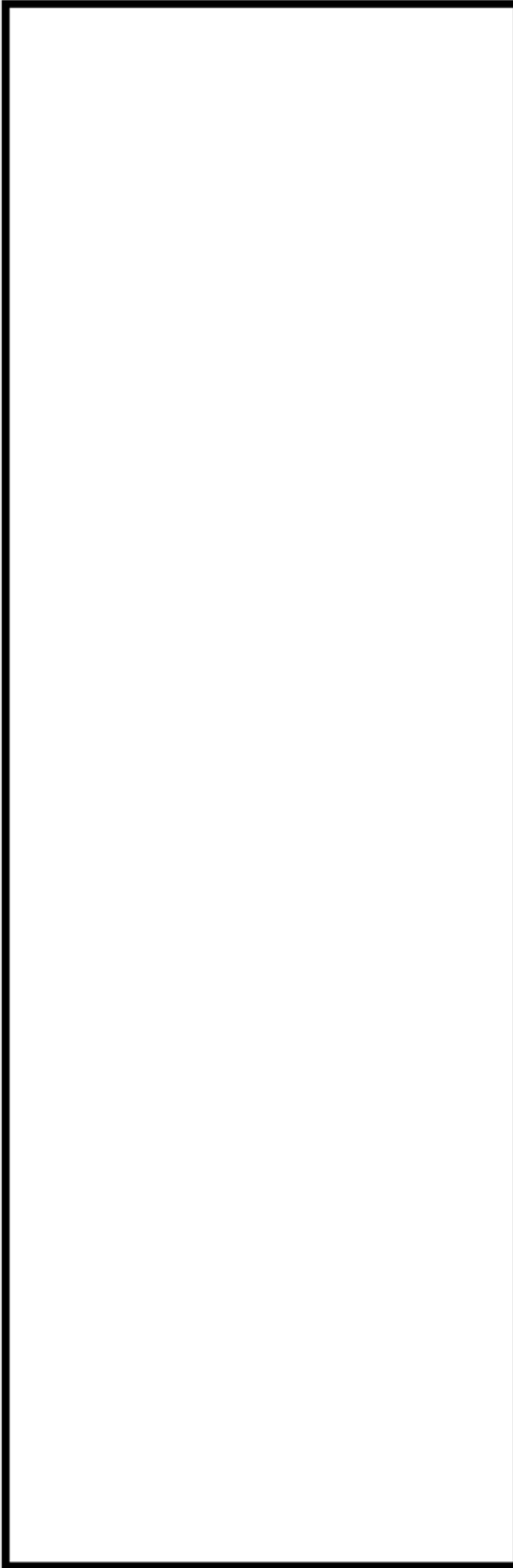


f. 過渡NSS,1H1

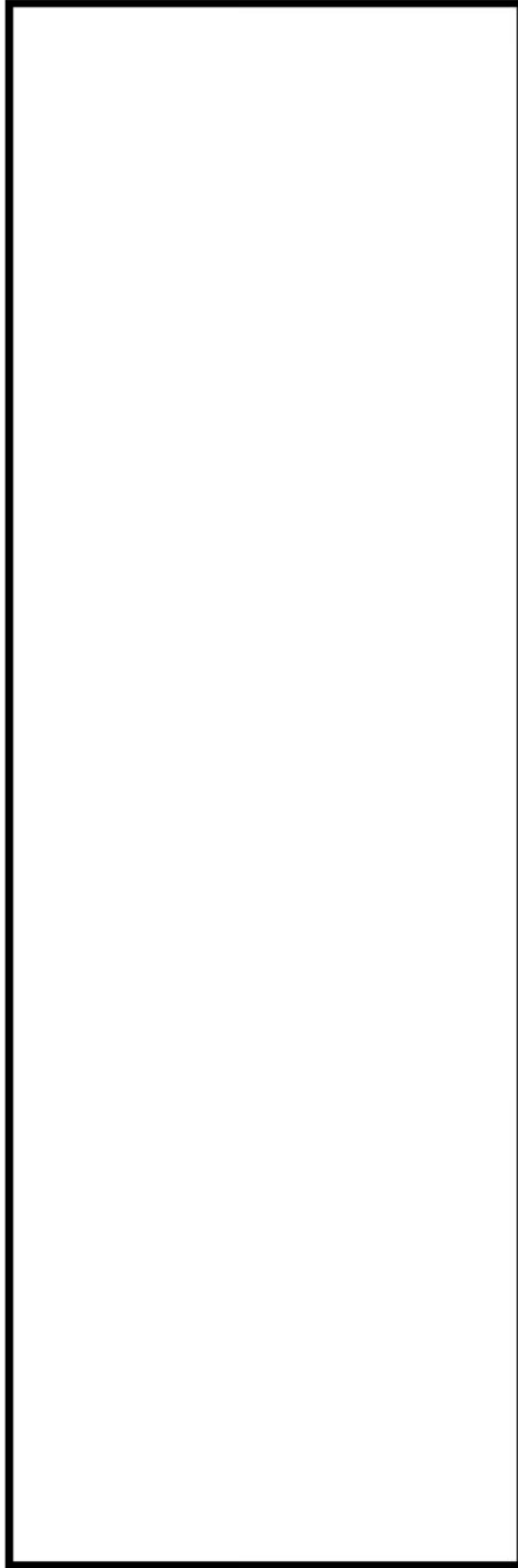


内は商業機密に属しますので公開できません

g. 過渡NSS,1A2



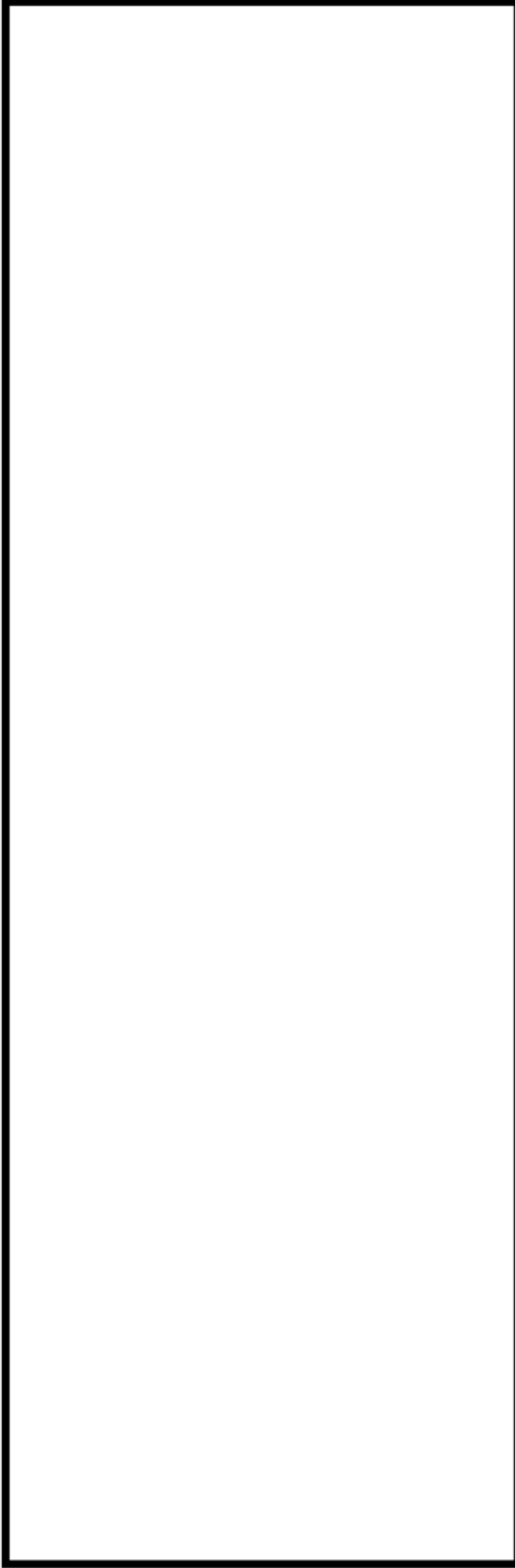
h. 過渡NSS,1B2



内は商業機密に属しますので公開できません

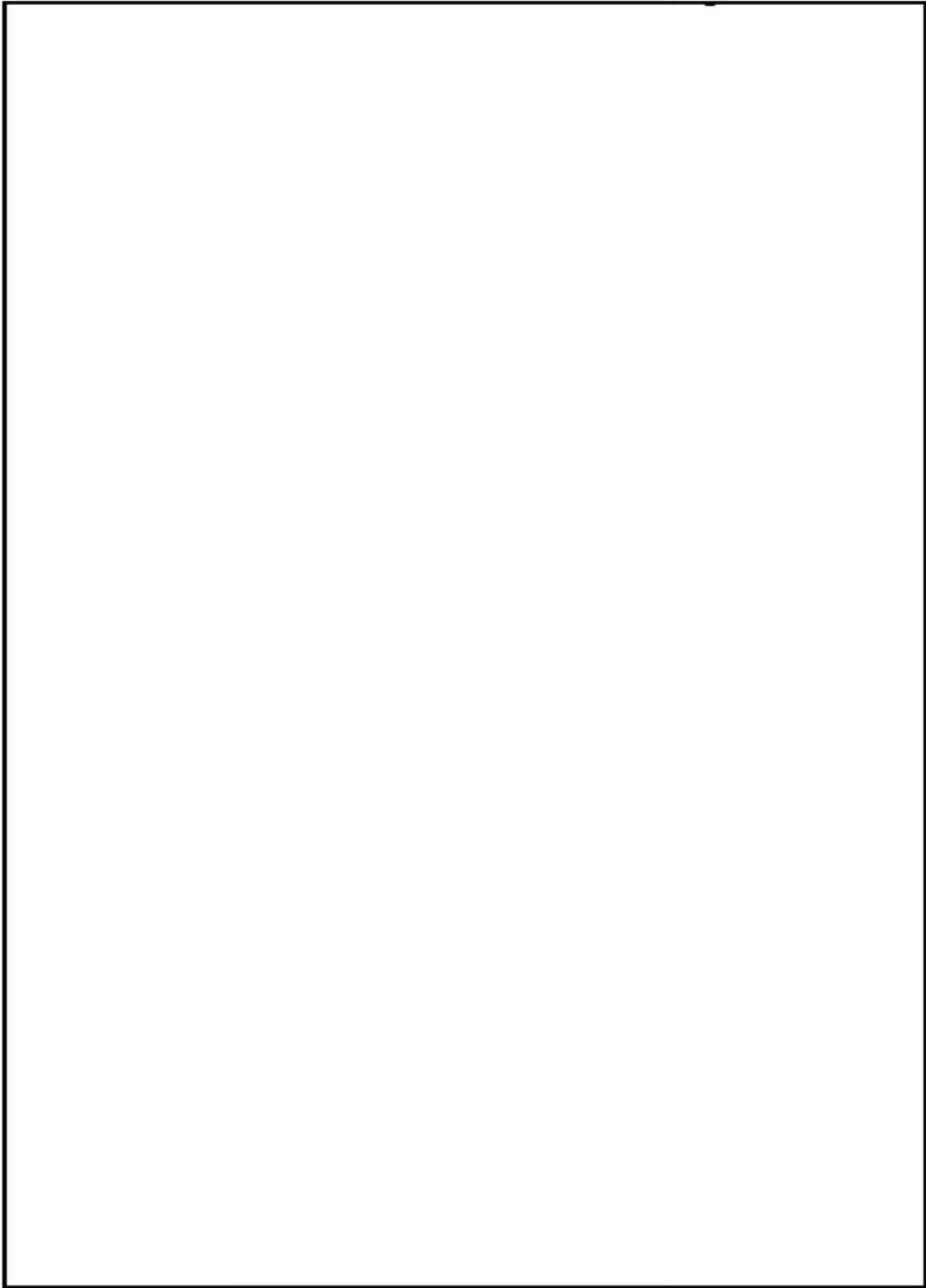


i. 過渡NSS,1C2



内は商業機密に属しますので公開できません





余熱除去クーラ 解析モデルおよび評価点

内は商業機密に属しますので公開できません

余熱除去クーラ 最大疲労評価点の選定

(MPa (疲れ評価を除く))

| 評価点 | | | 一次+二次応力強さ | 疲れ累積係数 |
|-----|----|----|-----------|-----------|
| 管板部 | 1 | 入口 | | (0.04896) |
| | | 出口 | | |
| | 2 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 3 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 4 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 5 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| 一般部 | 6 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 7 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 8 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 9 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 10 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 11 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| | 12 | 入口 | | |
| | | 出口 | | |
| 13 | 入口 | | | |
| | 出口 | | | |
| 14 | 入口 | | | |
| | 出口 | | | |

注) 1. ()はそれぞれの部位での最大値を示す。

→通常UF : 0.049

2. 評価点における入口と出口とは評価に用いる過渡の入口側と出口側のことを示す。

内は商業機密に属しますので公開できません

Ke係数と環境疲労パラメータ (余熱除去クーラ) (詳細評価手法)

| 過渡条件 記号 | 一次+二次+ ブロック応力強さ | | 割増し 係数 KE | 繰返しブロック 応力強さ | | 実過渡 回数 n | 許容繰返し 回数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen |
|-------------|--------------------|------|-----------------|-----------------|-------------|----------------|-------------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| | snax | snin | | 補正前 sall | 補正後 sall | | | | | |
| A | | | | | | | | | | |
| B | | | | | | | | | | |
| 合計: 0.06801 | | | | | | | | | | |

合計: 0.04896

→環境UF: 0.069

→通常UF: 0.049

内は商業機密に属しますので公開できません

環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

余熱除去クォーラ

a. 過渡1C1,NSS

| |
|--|
| |
|--|

b. 過渡1A1,NSS

| |
|--|
| |
|--|

内は商業機密に属しますので公開できません



伝熱管最外周部の穴周りの応力算出法

管板は穴明き部を簡易的に評価するため、ASME「ARTICLE A-8000 STRESSES IN PERFORATED FLAT PLATES」に基づき等価中実円板にモデル化して評価しております。

ここで、管板を等価中実円板としてモデル化するために縦弾性係数及びポアソン比は図1のグラフ (A-8131-1) に基づき補正しております。等価縦弾性係数と縦弾性係数の比、及び等価ポアソン比を表1に示します。

また、応力集中については図2に示す応力指数のグラフ (A-8142-2) からYmaxを読み取り、式 (1) の通り発生応力に応力指数を掛け合わせております。なお、読み取りに必要なβは等価中実円板の半径方向応力と周方向応力の比となりますので、Ymaxの値は解析モデルの要素ごとに変わる値となります。

$$S = Y_{max}(p/h) \sigma_1 + P \dots \dots \text{式 (1)}$$

S: 応力強さ、Ymax: 応力指数、p: 管穴ピッチ、h: リガメント幅、σ1: 主応力、P: 圧力

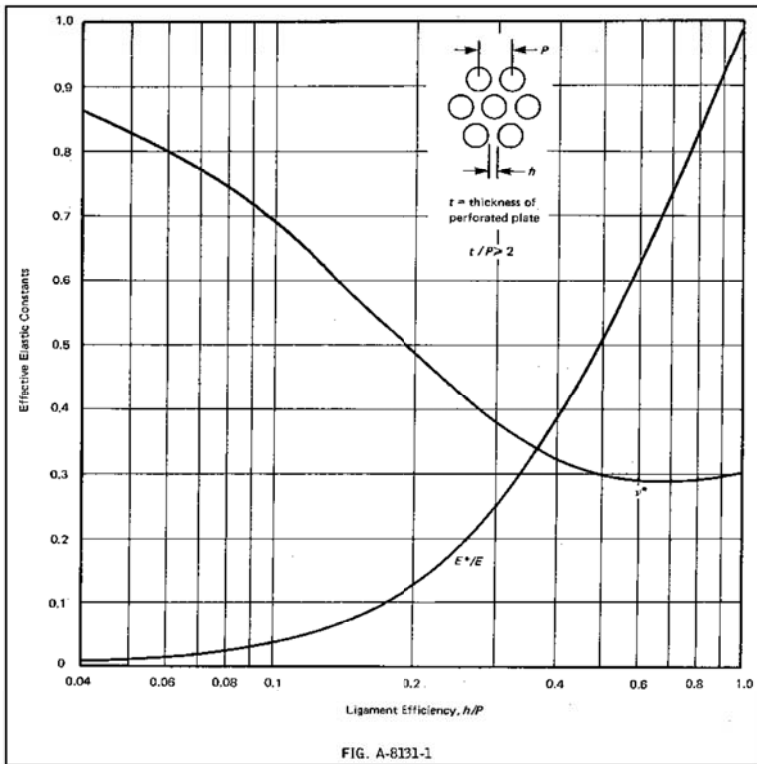


図1 等価縦弾性係数と等価ポアソン比

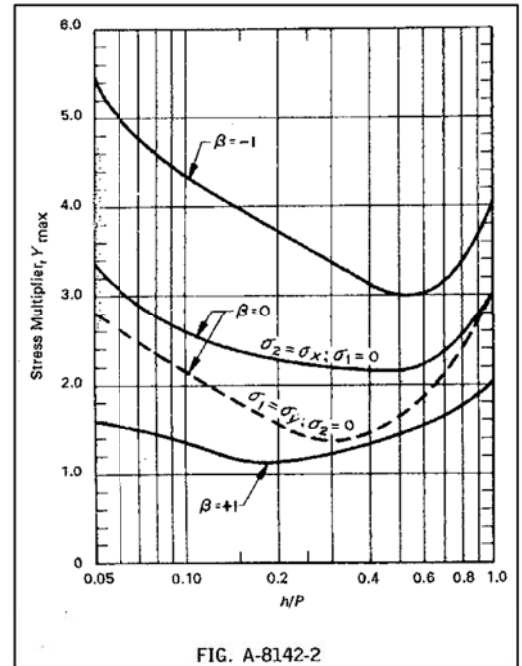


図2 応力指数

表1 等価縦弾性係数E*と縦弾性係数Eの比、及び等価ポアソン比ν*

| | | h [mm] | p [mm] | η = h/p | E*/E | ν* |
|-------|---------|------------|--------|---------|------|----|
| 高浜1号機 | 再生クーラ | [Redacted] | | | | |
| | 余熱除去クーラ | | | | | |

η: リガメント効率、E*: 等価縦弾性係数、E: 縦弾性係数、ν*: 等価ポアソン比

□ 内は商業機密に属しますので公開できません

| | | |
|-----|--|-------|
| No. | 高浜1-低サイクル疲労-7 rev1 | 事象：疲労 |
| 質 問 | <p>(別冊-2熱交換器-2蒸気発生器-22頁) 給水入口管台において、熱成層現象の想定と根拠、熱過渡・応力評価の方法及び評価結果を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>蒸気発生器給水入口管台では、プラント起動・停止時等における低温水の微小給水および停止により、熱成層の発生・消滅が繰返される可能性があることから、熱成層の発生を想定した環境疲労評価を行っています。</p> <p>環境疲労評価における熱成層現象の想定と根拠、熱過渡・応力評価の方法及び評価結果を添付に示します。</p> | |

高浜 1 号炉 蒸気発生器給水入口管台の環境疲労評価 (熱成層考慮)

1. 概要

本資料は、蒸気発生器給水入口管台の環境疲労評価の結果についてまとめたものである。
その結果、環境疲労累積係数 (以降 環境 U. F. と記す) は $0.235 < 1.0$ であり、問題ないことを確認した。

2. 評価方針

2.1 適用規格・基準

- 1) 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」
(JSME S NC1-2005/2007、以降「設計・建設規格」と記す。)
- 2) 日本機械学会「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法」
(JSME S NF1-2009、以降「環境疲労評価手法」と記す。)

2.2 評価手法

(1) 環境疲労評価手法

環境疲労評価は、環境疲労評価手法に従って評価を行うものとし、設計・建設規格に基づき算出したU. F. に環境効果補正係数 (Fen) を掛け合わせるにより求める。

$$\text{環境U. F.} = \text{U. F.} \times \text{Fen}$$

3. 給水入口管台の疲労評価条件

3.1 解析モデル化の方法

給水入口管台の環境疲労評価対象部位を図 1 に示す。

熱成層応力の解析は 3 次元の有限要素法解析により行う。

(1) 熱成層応力の解析モデル

熱成層応力の解析においては、評価部位周辺を 3 次元モデルでモデル化した有限要素法解析により行う。

管台及び管台近傍の配管を 3 次元ソリッド要素でモデル化し、その箇所からアンカーサポートまでをはり要素でモデル化する。

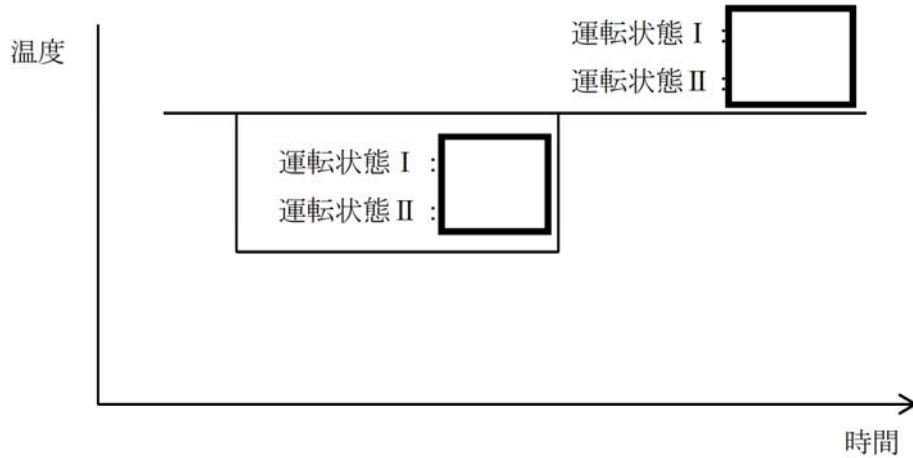
解析に使用したモデルを図 2, 3, 4 に示す。

(2) 解析コード

解析コードはABAQUS Ver. 6.3を使用する。

(3) 過渡条件

熱成層の発生・消滅過程は、安全側にステップ状に発生・消滅するものとする。



(4) 熱伝達率

熱成層による応力の解析に用いる熱伝達率は、以下に示すとおり流量及び温度から給水管台部を領域分けして設定している。

単位 : $W/(m^2 \cdot K)$

| 領域 (注) | | | I | II | III |
|---------|-------|----|-----|-----|-----|
| 運転状態 I | 熱成層なし | 上部 | [] | [] | [] |
| | | 下部 | | | |
| | 熱成層あり | 上部 | | | |
| | | 下部 | | | |
| 運転状態 II | 熱成層なし | 上部 | | | |
| | | 下部 | | | |
| | 熱成層あり | 上部 | | | |
| | | 下部 | | | |

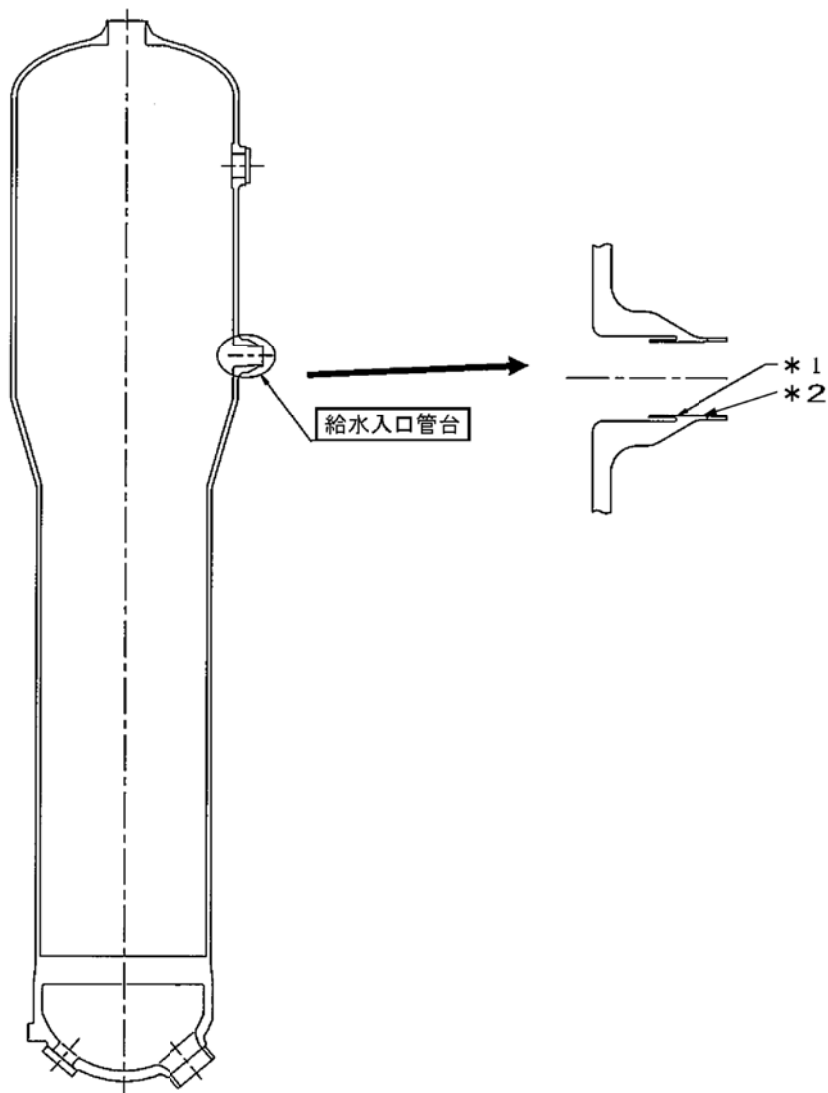
(注) 熱伝達率の領域分けは下図のとおりである。



(5) 物性値

熱成層による応力の解析に用いる材料の物性値は表 1 に示すとおりである。

[] 内は商業機密に属しますので公開できません



*1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

*2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位(最大) (接液部が対象)

図1 高浜1号炉 蒸気発生器給水入口管台の疲労割れ評価対象部位



図 2 解析モデル (全体図)



図 3 解析モデル (断面図)

内は商業機密に属しますので公開できません



* 1 : 接液部のうち熱成層による熱応力の影響が大きいと判断される箇所

図4 解析モデル(拡大図)

内は商業機密に属しますので公開できません

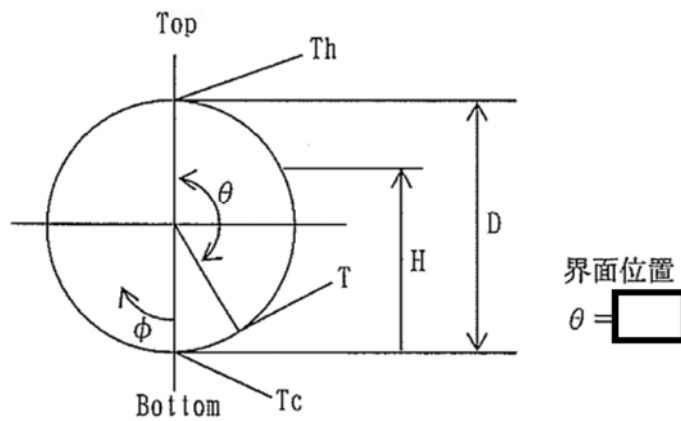
表1 材料物性値

| 部位 | 主給水管 | 給水入口管台 | 上部胴 | サーマルスリーブ* |
|--|------|--------|-----|-----------|
| 材料 | | | | |
| 熱伝導率 (W/mK) | | | | |
| 熱容量 ($\times 10^3$ kJ/m ³ K) | | | | |
| 熱膨脹率 ($\times 10^{-6}$ mm/mm $^{\circ}$ C) | | | | |
| 縦弾性係数 (MPa) | | | | |
| ポアソン比 (-) | | | | |

(注) 上記物性値は蒸気発生器2次側の定格出力運転時の温度(276.9 $^{\circ}$ C)における値であり、解析上は温度依存性を考慮してそれぞれの時刻の温度に基づく値を使用している。

(6) 温度プロファイル

熱成層界面位置は過去に実機プラントの給水管を計測しており、その際の検討結果より、水平配管頂部からの角度を設定している。



内は商業機密に属しますので公開できません

3.2 過渡条件

(1) 過渡回数

これまでの運転実績に基づく運転開始後60年時点での推定過渡回数で評価を実施する。

(2) 温度条件

低温水の微小給水・給水停止の繰返しによる熱成層の発生・消滅を評価する。

4. 評価結果

熱成層を考慮した環境疲労評価結果を表2に、過渡記号を表3に示す。

以上

表2 給水入口管台環境疲労評価結果(環境U. F. が最大となる評価点)

| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 | 許容繰返し 回数 | 疲労累積係数 | 環境効果 補正係数 | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 |
|------------|---|-------------------|------|------------|----------------|--------------|-----------|-------------|--------|--------------|---------------------|
| A | B | smax | smin | KE | 補正前 salt | 補正後 salt' | n | n* | u | fen | uen |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 合計: | 0.23438 |

→環境UF0.235

表3 過渡記号

| 記号 | 過渡事象 |
|------|-----------------------------------|
| 1A1 | 起動(温度上昇率55.6°C/h) |
| 1B1 | 停止(温度下降率55.6°C/h) |
| 1G1 | 100%からの大きいステップ状負荷減少 |
| 1N1* | 運転状態 I における冷水注入 |
| 2B1 | 外部電源喪失 |
| 2D3 | 100%からの原子炉トリップ 不注意な冷却を伴うトリップ |
| 2D5 | 100%からの原子炉トリップ 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ |
| 2E1 | 1次冷却系の異常な減圧 |
| 2G1 | 出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動 |
| 2T1* | 運転状態 II における冷水注入 |

* : 熱成層の発生を考慮している過渡

内は商業機密に属しますので公開できません

| | | |
|-----|--|-------|
| No. | 高浜 1 - 低サイクル疲労 - 8 | 事象：疲労 |
| 質 問 | <p>(別冊-4容器-1原子炉容器-6頁) 出入口管台等の疲労割れに係る評価対象部位の抽出の妥当性についての説明を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>疲労評価対象部位は、強度評価上厳しくなる以下の部位を対象としています。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 構造不連続部 (支持構造物取付部含む) ・ 材料不連続部 <p>なお、原子炉容器については、工認で評価されている部位に加えて、他プラントの工認で評価されている箇所も考慮してPLMの評価対象部位としています。</p> <p>添付資料：建設時工認資料、原子炉容器上部ふた取替工事工認資料及び高浜 1 号炉高経年化技術評価書 (抜粋)</p> | |

目 次

1. 原子炉容器の上部蓋フランジ, 上部胴フランジ接続部及び
スタッドボルト, ナット

- 1.1 形状及び寸法
- 1.2 解析モデル
- 1.3 最高使用圧力に対する応力(175 kg/cm²)
- 1.4 二次応力の判定
- 1.5 ピーク応力の判定
- 1.6 二次応力表
- 1.7 各過渡条件におけるピーク応力の全振幅
- 1.8 疲労累積損傷係数

2. 冷却材入口管台

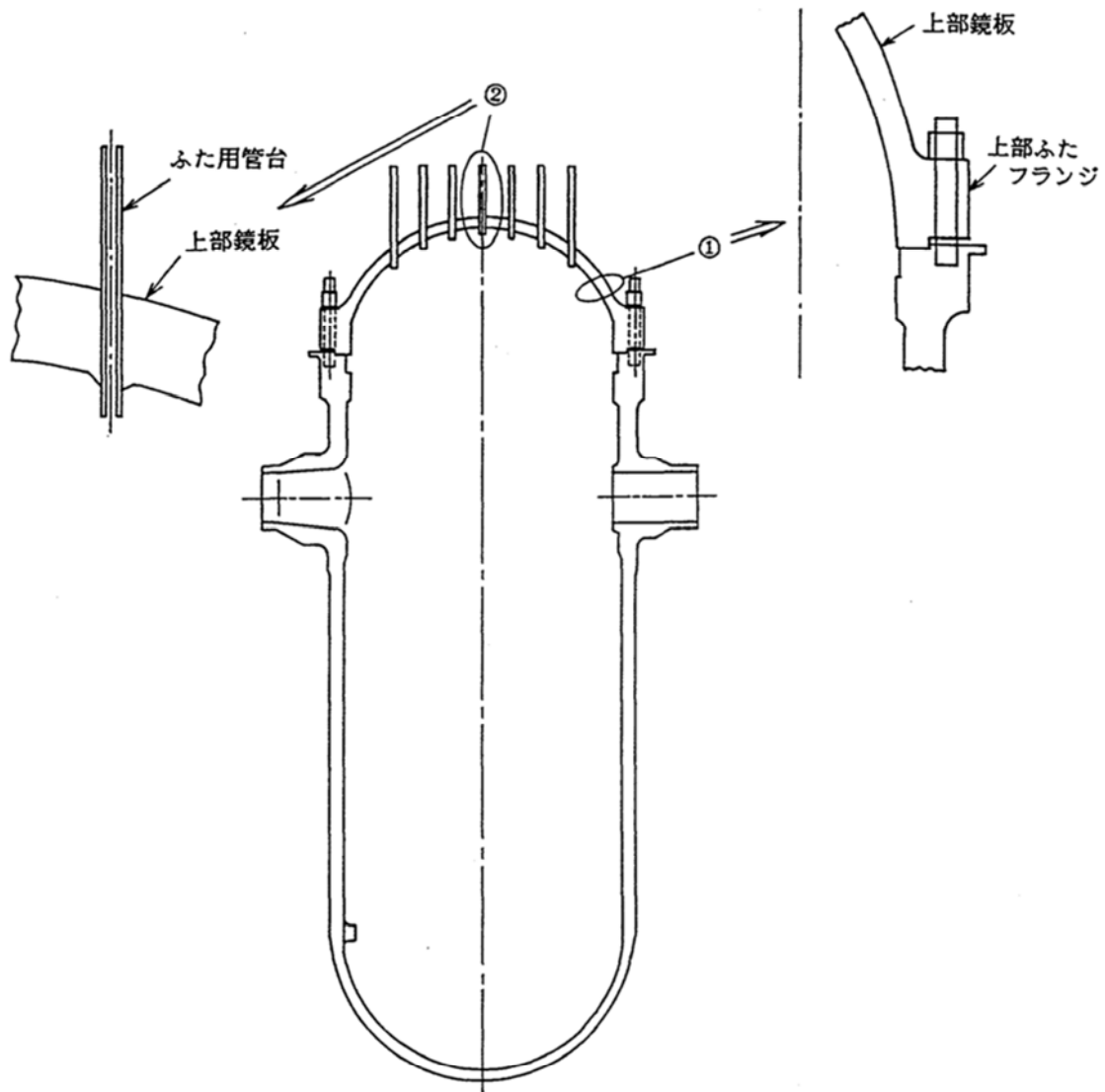
- 2.1 形状及び寸法
- 2.2 解析モデル
- 2.3 最高使用圧力に対する応力評価
- 2.4 二次応力の判定
- 2.5 ピーク応力の判定
- 2.6 二次応力表
- 2.7 各過渡条件におけるピーク応力の全振幅
- 2.8 疲労累積損傷係数

3. 冷却材出口管台

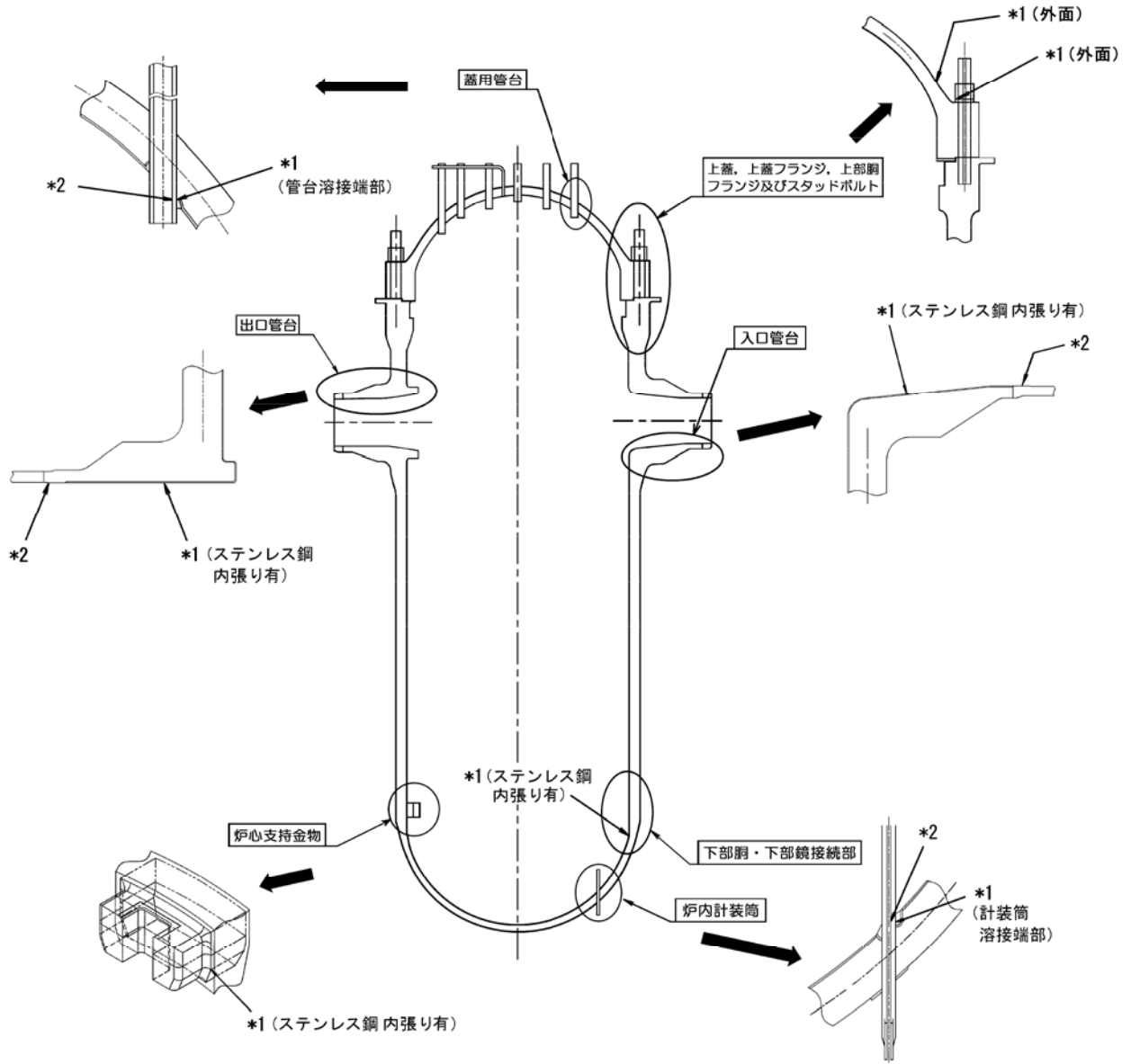
- 3.1 形状及び寸法
- 3.2 解析モデル
- 3.3 最高使用圧力に対する応力評価
- 3.4 二次応力の判定
- 3.5 ピーク応力の判定
- 3.6 二次応力表
- 3.7 各過渡条件におけるピーク応力の全振幅
- 3.8 疲労累積損傷係数

4. 原子炉容器の下部胴，下部鏡接続部

- 4.1 形状及び寸法
- 4.2 解析モデル
- 4.3 最高使用圧力に対する応力
- 4.4 二次応力の判定
- 4.5 ピーク応力の判定
- 4.6 二次応力表
- 4.7 各過渡条件におけるピーク応力の全振幅
- 4.8 疲労累積損傷係数



原子炉容器上部ふた取替工事工認評価部位



高経年化技術評価における評価部位

| | | |
|-----|--|-------|
| No. | 高浜1-低サイクル疲労-10 rev1 | 事象：疲労 |
| 質 問 | (別冊-4容器-3.2機械ペネトレーション-30頁) 余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入ロライン貫通部の疲労累積係数の算出根拠を提示すること。 | |
| 回 答 | 余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入ロライン貫通部 配管解析から当該部位に加わる負荷を算出し、材料力学公式（参考文献 Formulas for Stress and Strain Raymond J. Roark他著）とPVB-3130の応力集中係数にかかわる規定を用いて疲労評価を行っています。疲労評価部位は端板と配管との境界部分であり、応力集中係数は4を考慮しています。 | |

配管貫通部の基本寸法箇所と仕様 (形状、材料) を図 1、表 1 に示す。

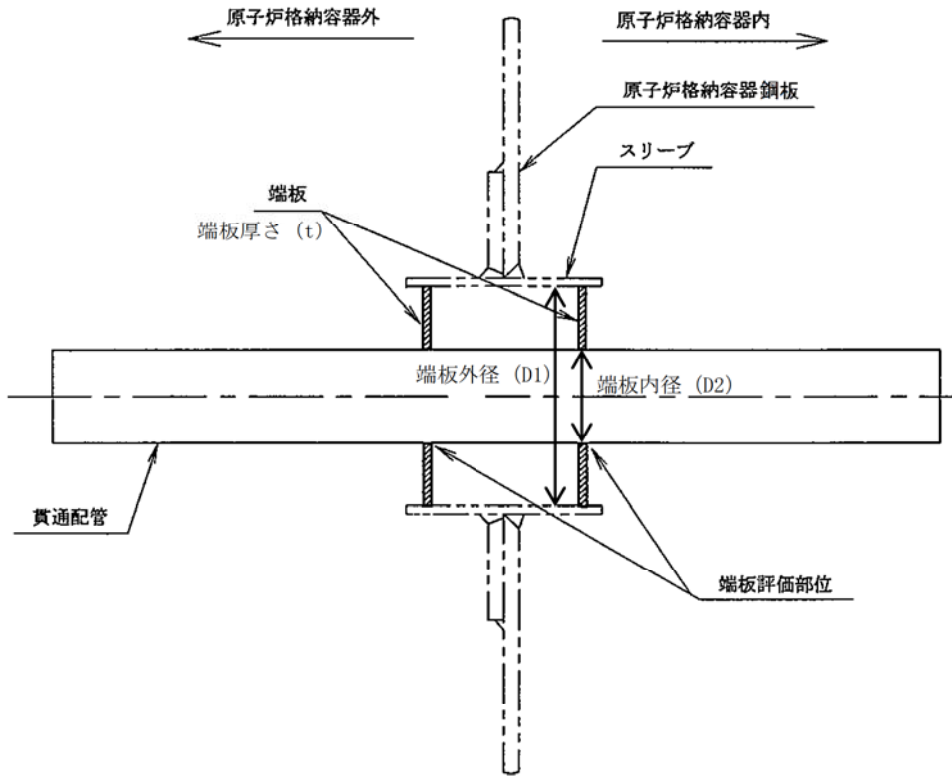


図 1 余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入ロライン貫通部の基本寸法箇所

表 1 余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入ロライン貫通部の仕様

| 格納容器最高 使用圧力 (MPa) | 最高使用 温度 (°C) | 端板外径 (mm) D ₁ | 端板内径 (mm) D ₂ | 端板板厚 (mm) t | 端板材料 | 材料の最高使用 温度における 縦弾性係数 (MPa) |
|----------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|------|-------------------------------------|
| [Redacted] | | | | | | |

配管解析からの負荷と貫通部の仕様を用いて材料力学公式によって評価部位の最大発生応力が求まる。その応力に対応する許容回数を疲労線図 (JSME S NC1-2005/2007) から算出し、以下の式により疲労累積係数 (U_f) が算出される。

$$U_f = \frac{n}{N}$$

ここで、n=過渡による負荷回数、N=発生応力で許容される回数

| | ピーク応力 強さ (MPa) | 過渡による 負荷回数 (n) | 許容回数 (N) | U _f |
|-------|-------------------|-------------------|-------------|----------------|
| 固定式端板 | [Redacted] | | | 0.427 |

[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません

| | | |
|-----|---|------------|
| No. | 高浜 1 - 中性子照射脆化 - 1 | 事象：中性子照射脆化 |
| 質 問 | <p>(別冊-4容器-1原子炉容器-23頁) 「内表面」及び「内表面から板厚tの1/4深さ」に係る、2015年4月時点及び運転開始後60年時点の中性子照射量の計算過程について提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>「内表面」及び「内表面から板厚tの1/4深さ」に係る、2015年4月時点及び運転開始後60年時点の中性子照射量の計算過程について添付 1 に示します。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> | |

中性子照射量算出要領

評価時期における原子炉容器内表面および原子炉容器内表面から板厚tの1/4t深さ位置での中性子照射量fは、第4回監視試験により得られた中性子照射量f₁及び定格負荷相当年数EFPY₁を用いて算出した中性子束に対し、原子炉容器内表面のリードファクタLF及び板厚方向の減衰係数を考慮し、評価時点での定格負荷相当年数EFPY₂を乗じて算出する。

$$f = \underbrace{f_1 \div \text{EFPY}_1}_{\text{カプセル位置での中性子束}} \div \underbrace{\text{LF}}_{\text{内表面位置での中性子束}} \times \underbrace{\exp(-0.24 \times t \div 4 \div 25.4)}_{\text{1/4t深さ位置での中性子束}} \times \text{EFPY}_2$$

評価時期における1/4t深さ位置での中性子照射量

高浜 1 号炉の中性子照射量算出に用いる値を下表に示す。

表 中性子照射量算出に用いる値

| 記号 | 算出に用いる値 |
|--|-----------------------------|
| f ₁ (× 10 ¹⁹ n/cm ²) | □ |
| EFPY ₁ | □ |
| EFPY ₂ | (2015年4月時点) (運転開始後60年時点) |
| LF | □ |
| t (mm) | □ |

2015年4月時点及び運転開始後60年時点における原子炉容器内表面での中性子照射量fは以下となる。

- ① 原子炉容器内表面：2015年4月時点

$$f = \square$$

- ② 原子炉容器内表面：運転開始後60年時点

$$f = \square$$

2015年4月時点及び運転開始後60年時点における原子炉容器内表面から板厚tの1/4t深さ位置での中性子照射量fは以下となる。

- ③ 原子炉容器内表面から板厚tの1/4t深さ位置：2015年4月時点

$$f = \square$$

- ④ 原子炉容器内表面から板厚tの1/4t深さ位置：運転開始後60年時点

$$f = \square$$

以上

| No. | 高浜 1 - 中性子照射脆化 - 2 | 事象：中性子照射脆化 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|----------------|------|---------|---|----------------|--|-----|------|----------------|------|----|----|---------|---|----------------|--|-----|------|----------------|------|--|--|
| 質 問 | <p>(別冊-4容器-1原子炉容器-25頁) 国内脆化予測法 (JEAC4201-2007/2013追補版 (案)) で評価がなされているが、JEAC4201-2007/2010追補版と比較して、その評価の妥当性について提示すること。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 回 答 | <p>電気技術規程「原子炉構造材の監視試験方法 (JEAC4201)」は、発電用軽水炉原子炉压力容器用鋼材の中性子照射による機械的性質の変化を定期的に調査し評価するための監視試験方法について規定しているもので、1970年の初版制定以降、新しい知見等を加えて改定が実施されています。</p> <p>2013追補版では、近年採取された比較的照射量の高い監視試験データを反映することにより、JEAC4201附属書Bに記載されている中性子照射による関連温度移行量の予測が、特に高照射領域においてJEAC4201-2007/2010追補版と比べて改善しております。</p> <p>このため、JEAC4201-2007/2013追補版が高浜 1 号炉の評価を行なうに際して現在最も予測精度の高い手法であると判断しました。</p> <p>参考に、JEAC4201-2007/2010追補版およびJEAC4201-2007/2013追補版を用いて評価した高浜 1 号炉関連温度予測値を示します。</p> <p style="text-align: center;"><u>JEAC4201-2007/2013追補版を用いて評価した関連温度の予測値</u></p> <table border="1" data-bbox="528 1229 1227 1458"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評 価 時 期</th> <th rowspan="2">中性子照射量*1 ($\times 10^{19}n/cm^2$) [E > 1 MeV]</th> <th colspan="2">関 連 温 度*2 (°C)</th> </tr> <tr> <th>母 材</th> <th>溶接金属</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>運転開始後 60年時点</td> <td>4.44</td> <td>97</td> <td>52</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><u>JEAC4201-2007/2010追補版を用いて評価した関連温度の予測値</u></p> <table border="1" data-bbox="528 1576 1227 1812"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評 価 時 期</th> <th rowspan="2">中性子照射量*1 ($\times 10^{19}n/cm^2$) [E > 1 MeV]</th> <th colspan="2">関 連 温 度*2 (°C)</th> </tr> <tr> <th>母 材</th> <th>溶接金属</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>運転開始後 60年時点</td> <td>4.44</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">*1:内表面から板厚 t の 1/4 t 深さでの中性子照射量 *2:内表面から板厚 t の 1/4 t 深さでの予測値</p> <p style="text-align: right;">以上</p> | | | 評 価 時 期 | 中性子照射量*1 ($\times 10^{19}n/cm^2$) [E > 1 MeV] | 関 連 温 度*2 (°C) | | 母 材 | 溶接金属 | 運転開始後 60年時点 | 4.44 | 97 | 52 | 評 価 時 期 | 中性子照射量*1 ($\times 10^{19}n/cm^2$) [E > 1 MeV] | 関 連 温 度*2 (°C) | | 母 材 | 溶接金属 | 運転開始後 60年時点 | 4.44 | | |
| 評 価 時 期 | 中性子照射量*1 ($\times 10^{19}n/cm^2$) [E > 1 MeV] | 関 連 温 度*2 (°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 母 材 | 溶接金属 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 運転開始後 60年時点 | 4.44 | 97 | 52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 評 価 時 期 | 中性子照射量*1 ($\times 10^{19}n/cm^2$) [E > 1 MeV] | 関 連 温 度*2 (°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 母 材 | 溶接金属 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 運転開始後 60年時点 | 4.44 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|-----|--|------------|
| No. | 高浜 1 - 中性子照射脆化 - 3 | 事象：中性子照射脆化 |
| 質 問 | <p>(別冊-4容器-1原子炉容器-25頁) 2015年4月時点及び運転開始後60年時点の関連温度及び上部棚吸収エネルギーの予測の計算過程及び計算に用いた数値を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>2015年4月時点及び60年時点の関連温度及び上部棚吸収エネルギーの予測はJEAC4201-2007/2013追補版に従って評価しています。評価結果の算出過程を添付資料に示します。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> | |

1. 関連温度の算出

1.1 関連温度算出の詳細な要領

RTNDTの予測値(RTNDT調整値)は次の通り算出する。

$$RTNDT調整値 = RTNDT初期値 + \Delta RTNDT予測値 \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

$$\Delta RTNDT予測値 = \Delta RTNDT計算値 + MR \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

RTNDT初期値 : 照射前の試験により決定したRTNDT(°C)

$\Delta RTNDT$ 計算値 : 以下のように設定する。

$\Delta RTNDT$ 計算値(°C)はJEAC4201-2007/2013追補版の附属書表B-2100-1(PWRの場合)より、公称照射温度から適用表を選択し、中性子束、Cu含有量、Ni含有量及び中性子照射量又はEFPYにより比例法及び対数補間にて算出する。なお、中性子照射量 f ($\times 10^{19}n/cm^2$ 、 $E > 1MeV$)は、容器内面からの深さを a (mm)とすると次式で与えられる。

$$f = f_0 \cdot \exp(-0.24a/25.4) \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

ここで、 f_0 : 容器内面での中性子照射量($\times 10^{19}n/cm^2$ 、 $E > 1MeV$)

MR : マージン(°C)であり、22°Cである。

しかしながら、監視試験による $\Delta RTNDT$ の実測値が(1.2)式で求まる $\Delta RTNDT$ 予測値を上回った場合は実測値を包絡するようにMRを定め直す。

当該材料に対して2個以上の監視試験による $\Delta RTNDT$ の実測値がある場合、そのデータを用いて以下の様に $\Delta RTNDT$ 予測値を求め、それと(1.1)式を用いてRTNDT調整値を求める。

$$\Delta RTNDT予測値 = [\Delta RTNDT計算値 + Mc] + MR \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

$\Delta RTNDT$ 計算値 : 附属書表B-2100-1より求めた $\Delta RTNDT$ 計算値(°C)

Mc : 実測値で補正する場合に用いるマージン(°C)であり、次式で求める。ただし、 $[\Delta RTNDT計算値 + Mc]$ が負となる場合は、 $[\Delta RTNDT計算値$

+Mc] を0とする。

$$M_C = \frac{\sum_{i=1}^n \{(\Delta R T_{NDT} \text{実測値})_i - (\Delta R T_{NDT} \text{計算値})_i\}}{n} \dots\dots (1.5)$$

ここで、 n : 監視試験データ数
 $(\Delta R T_{NDT} \text{実測値})_i$: 第 i 回監視試験より得られた
 $\Delta R T_{NDT}$ の実測値 (°C)

この場合、(1.4) 式のマージン M_R は 18°C とすることができる。

ただし、監視試験による $\Delta R T_{NDT}$ の実測値が (1.4) 式で求まる $\Delta R T_{NDT}$ 予測値を上回った場合は実測値を包含するように M_R を定め直す。

本脆化予測法の適用範囲を以下に示す。

| | (母材及び溶接金属) |
|--|---|
| ・ 材料の Cu 含有量 (mass%) | 0.25 以下 |
| ・ 材料の Ni 含有量 (mass%) | 0.5 ~ 1.1 |
| ・ 材料の P 含有量 (mass%) | 0.025 以下 |
| ・ 中性子照射量 (n/cm ² 、E > 1MeV) | 1.0 × 10 ¹⁷ ~ 1.3 × 10 ²⁰ |
| ・ 中性子束 (n/cm ² /s、E > 1MeV) | 1.0 × 10 ⁷ ~ 1.0 × 10 ¹² |
| ・ 公称照射温度 (°C) | 270 ~ 290 |

[注記]

- ・ Cu 含有量が 0.04mass% 以下の場合は、Cu 含有量は 0.04mass% として関連温度移行量を予測する。

1.2 関連温度算出結果

関連温度の算出に用いる各部材の化学成分及び公称照射温度を添付表-1、各時期(照射前～第4回監視試験時点, 2015年4月時点 [] 及び運転開始後60年時点 [])における中性子照射量, 中性子束, RT_{NDT} 実測値を添付表-2に示す。

添付表-1 各部材の化学成分及び公称照射温度

| 部材 | 化学成分 (mass%) | | | 公称照射温度 (°C) |
|-----------|--------------|------|-------|-------------|
| | Cu | Ni | P | |
| 母材 (熱影響部) | 0.16 | 0.61 | 0.010 | [] |
| 溶接金属 | 0.14 | 0.80 | 0.012 | |

添付表-2 各時期における中性子照射量, 中性子束, RT_{NDT} 実測値

| 監視試験回次 及び評価時期 | 中性子照射量 ($\times 10^{19}n/cm^2$) [E>1MeV] | 中性子束 ($\times 10^{10}n/cm^2/s$) [E>1MeV] | RT_{NDT} 実測値 (°C) | | |
|------------------|--|--|---------------------|------|------|
| | | | 母材 | 熱影響部 | 溶接金属 |
| 0 | — | — | -4 | -40 | -53 |
| 1 | 0.33 | [] | 22 | -4 | -20 |
| 2 | 1.34 | | 54 | 13 | 3 |
| 3 | 3.44 | | 68 | 33 | 24 |
| 4 | 5.61 | | 95 | 57 | 53 |
| 2015年4月時点*1 | 2.82 | | — | — | — |
| 運転開始後60年時点*1 | 4.44 | | — | — | — |

*1 : 1/4T位置

[] 内は商業機密に属しますので公開できません

1. 1項に従い添付表-1及び2のデータを用いて算出した ΔRT_{NDT} 計算値を添付表-3に示す。

添付表-3 各時期における ΔRT_{NDT} 計算値

| 監視試験回次 及び評価時期 | ΔRT_{NDT} 計算値 (°C) | | |
|------------------|----------------------------|------|------|
| | 母材 | 熱影響部 | 溶接金属 |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 2015年4月時点* | | | |
| 運転開始後60年時点* | | | |

* : 1/4T位置

1. 1項に従い添付表-2及び3のデータを用いて算出した M_C 及び M_R を添付表-4に示す。

添付表-4 各部材における M_C 及び M_R

| 部材 | M_C | M_R |
|------|-------|-------|
| 母材 | | |
| 熱影響部 | | |
| 溶接金属 | | |

ここで、(1. 1)式及び(1. 4)式に従い、関連温度の算出式をまとめると、以下の通り。

RT_{NDT} 調整値

$$= RT_{NDT}初期値 + [\Delta RT_{NDT}計算値 + M_C] + M_R \dots\dots\dots (1. 6)$$

1. 1項に従い添付表-2~4のデータを用いて、(1. 6)式より2015年4月時点 及び運転開始後60年時点 における内表面から板厚 t の $1/4t$ 深さでの関連温度を算出した結果を以下に示す。

2015年4月時点

| | | |
|------|------------------|----------------------|
| 母材 | 89 (°C) \simeq | <input type="text"/> |
| 熱影響部 | 54 (°C) \simeq | |
| 溶接金属 | 43 (°C) \simeq | |

内は商業機密に属しますので公開できません

運転開始後60年時点

| | | |
|------|-----------|----------------------|
| 母材 | 97 (°C) ≒ | <input type="text"/> |
| 熱影響部 | 62 (°C) ≒ | |
| 溶接金属 | 52 (°C) ≒ | |

内は商業機密に属しますので公開できません

2. 上部棚吸収エネルギーの算出

2.1 上部棚吸収エネルギー算出の詳細な要領

USEの予測値(USE調整値)は次の通り算出する。

$$\text{USE調整値 (J)} = \text{USE初期値} \times (1 - \Delta \text{USE予測値}/100) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

USE初期値 : 照射前の試験により決定したUSE (J)

$$\Delta \text{USE予測値 (\%)} = C_0 + [CF_U] \cdot [FF_U]_{(f)} + M_U \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

C_0 : 母材(含む熱影響部)については-0.95、溶接金属については-2.78

$[CF_U]$: 化学成分 (mass%) による係数

母材(含む熱影響部)

$$[CF_U] = 5.23 + 9.36 \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \tanh\{(Cu - 0.087)/0.034\}) \\ \times (1 + 0.59 \cdot Ni) \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

溶接金属

$$[CF_U] = 9.78 + 3.96 \cdot (0.5 + 0.5 \cdot \tanh\{(Cu - 0.086)/0.045\}) \\ \times (1 + 3.63 \cdot Ni) \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Cu : 銅の含有量 (mass%)

Ni : ニッケルの含有量 (mass%)

$[FF_U]_{(f)}$: 中性子照射量 f ($\times 10^{19}n/cm^2$, $E > 1MeV$) による係数

$$\text{母材(含む熱影響部)} \quad [FF_U]_{(f)} = f^{(0.349 - 0.068 \log f)} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{溶接金属} \quad [FF_U]_{(f)} = f^{(0.234 + 0.015 \log f)} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

$$f = f_0 \cdot \exp(-0.24a/25.4) \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

f_0 : 容器内面での中性子照射量 ($\times 10^{19}n/cm^2$, $E > 1MeV$)

a : 容器内面からの深さ (mm)

MU : 以下のように設定する。

1) 当該の材料に対して監視試験による Δ USEの実測値が2個未満の場合

$$MU = 2\sigma_{\Delta U} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

$\sigma_{\Delta U}$: Δ USEに関する標準偏差 (%)

母材(含む熱影響部)については6.9%、溶接金属については7.5%。

ただし、監視試験(第1回)による Δ USEの実測値が(2.2)式で求まる Δ USE予測値を上回った場合は実測値を包含するようにMUを定め直す。

2) 当該の材料に対して監視試験による Δ USEの実測値が2個以上の場合

$$MU = \frac{\sum_{i=1}^n \{(\Delta \text{USE実測値})_i - (G_0 + [CF_U] \cdot [FF_U]_{(fi)})\}}{n} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

$(\Delta \text{USE実測値})_i$: 第*i*回監視試験より得られた Δ USEの実測値 (%)

n : 監視試験データ数

ただし、監視試験による最大の Δ USEの実測値が(2.2)式で求まる Δ USE予測値を上回った場合は実測値を包含するようにMUを定め直す。

国内USE予測式の適用範囲を以下に示す。

| | 母材 | 溶接金属 |
|--------------------------------------|--|---------|
| ・ 材料のCu含有量 (mass%) | 0.25以下 | 0.20以下 |
| ・ 材料のNi含有量 (mass%) | 0.5~1.0 | 0.5~1.1 |
| ・ 材料のP含有量 (mass%) | 0.020以下 | 0.016以下 |
| ・ 中性子照射量 (n/cm ² 、E>1MeV) | 1.0×10 ¹⁷ ~1.2×10 ²⁰ | |
| ・ 公称照射温度 (°C) | 274~310 | |

2.2 上部棚吸収エネルギー算出結果

上部棚吸収エネルギーの算出に用いる各部材の化学成分及び公称照射温度を添付表-5、各時期(照射前～第4回監視試験時点, 2015年4月時点[]及び運転開始後60年時点[])における中性子照射量, USE実測値を添付表-6に示す。

添付表-5 各部材の化学成分及び公称照射温度

| 部材 | 化学成分 (mass%) | | | 公称照射温度 (°C) |
|-----------|--------------|------|-------|----------------|
| | C u | N i | P | |
| 母材 (熱影響部) | 0.16 | 0.61 | 0.010 | [] |
| 溶接金属 | 0.14 | 0.80 | 0.012 | |

添付表-6 各時期における中性子照射量, USE実測値

| 監視試験回次 及び評価時期 | 中性子照射量 ($\times 10^{19}n/cm^2$) [E>1MeV] | USE実測値 (J) | | |
|------------------|--|------------|------|------|
| | | 母材 | 熱影響部 | 溶接金属 |
| 0 | — | 98 | 137 | 158 |
| 1 | 0.33 | 80 | 128 | 127 |
| 2 | 1.34 | 74 | 124 | 123 |
| 3 | 3.44 | 76 | 125 | 127 |
| 4 | 5.61 | 81 | 125 | 131 |
| 2015年4月時点*1 | 2.82 | — | — | — |
| 運転開始後60年時点*1 | 4.44 | — | — | — |

*1 : 1/4T位置

ここで、(2.1)式及び(2.2)式に従い、上部棚吸収エネルギーの算出式をまとめると、以下の通り。

$$\text{USE調整値} = \text{USE初期値} \times (1 - (C_0 + [CF_U] \cdot [FF_U]_{(f)} + M_U) / 100) \dots\dots\dots (2.10)$$

[] 内は商業機密に属しますので公開できません

2.1項に従い添付表-5及び6のデータを用いて $[CF_U]$ 、 $[FF_U]_{(f)}$ 及び M_U を算出し、(2.10)式より2015年4月時点 \square 及び運転開始後60年時点 \square における上部棚吸収エネルギーを算出した結果を以下に示す。


2015年4月時点 (25.7EFPY)

$$\begin{array}{l} \text{母材} \quad 69 \text{ (J)} \quad \doteq \quad 98 \times (1 - ((-0.95) + \square) / 100) \\ \text{熱影響部} \quad 117 \text{ (J)} \quad \doteq \quad 137 \times (1 - ((-0.95) + \square) / 100) \\ \text{溶接金属} \quad 115 \text{ (J)} \quad \doteq \quad 158 \times (1 - ((-2.78) + \square) / 100) \end{array}$$

運転開始後60年時点 (40.4EFPY)

$$\begin{array}{l} \text{母材} \quad 65 \text{ (J)} \quad \doteq \quad 98 \times (1 - ((-0.95) + \square) / 100) \\ \text{熱影響部} \quad 112 \text{ (J)} \quad \doteq \quad 137 \times (1 - ((-0.95) + \square) / 100) \\ \text{溶接金属} \quad 109 \text{ (J)} \quad \doteq \quad 158 \times (1 - ((-2.78) + \square) / 100) \end{array}$$

\square 内は商業機密に属しますので公開できません

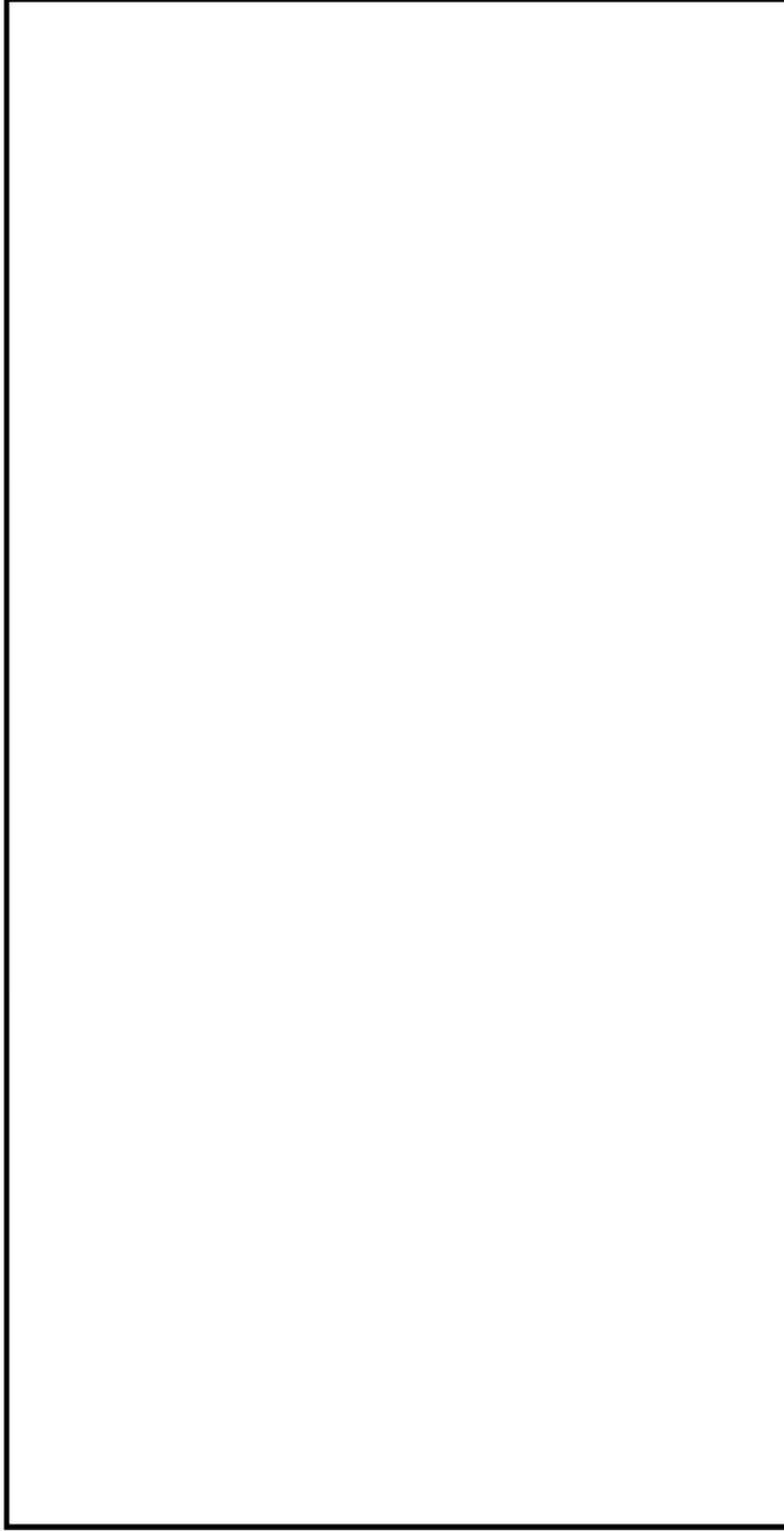
| | | |
|-----|---|----------|
| No. | 高浜1-IASCC-1 | 事象：IASCC |
| 質問 | <p>(別冊-7炉内構造物-41頁) バッフルフォーマボルトのIASCCについて、最新知見を用いて評価した60年時点でのボルトの損傷本数を提示すること。</p> | |
| 回答 | <p>バッフルフォーマボルトのIASCCについて、原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ（IASCC）評価技術」事業で得られた最新知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点（約□万時間）でのボルトの損傷本数は全数の約□%（□本程度）であると評価しています。 なお、高浜1号炉については炉内構造物の取替を計画しています。</p> <div style="text-align: center;">  <p>累積損傷本数(%)</p> <p>運転時間(時間)</p> <p><u>バッフルフォーマボルトの累積損傷本数の予測</u> (バッフルフォーマボルト材のIASCC発生しきい線を用いた予測)</p> </div> | |

□内は商業機密に属しますので公開できません

| | | |
|-----|---|---------------|
| No. | 高浜 1 - I A S C C - 2 | 事象： I A S C C |
| 質 問 | <p>(別冊-7炉内構造物-41頁) バッフルフォーマボルトのIASCCについて、最新知見を用いて行った損傷本数評価の妥当性確認の内容を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>バッフルフォーマボルトの損傷本数評価については、バッフル構造をモデル化した応力解析結果と、原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術」事業で得られた最新知見に基づき設定したIASCC発生しきい線との比較により損傷可能性を評価しています。</p> <p>応力解析手法については、国内外の学会に解析内容を発表しており、有識者の評価を得ております。なお、応力解析におけるスウェリング量については、米国の実験炉EBR-II炉心の中性子反射体要素(SUS304材)から採取したデータを基に作成したdpaレイト補正Foster-Flinn式を用いて評価しています。本評価式は照射量、dpaレイト(照射速度)、温度のスウェリング量への影響を定式化したものとなっています。クリープ量については、国プロ「照射誘起型応力腐食割れ(IASCC)評価技術」事業において示された照射下クリープ評価式を用いた評価を行っています。本評価式は、Halden炉での照射下クリープデータに基づき作成されたものです。</p> <p>IASCC発生しきい線については、原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術」事業で得られたバッフルフォーマボルト材のIASCC発生試験結果の下限を取って設定しています。</p> <p>以上のことから、今回実施したバッフルフォーマボルトの損傷本数評価は妥当であると判断しています。</p> <p>なお、上記の評価手法については、原子力安全推進協会にて「PWR炉内構造物点検評価ガイドライン[バッフルフォーマボルト]第2版」として規格化されており、平成26年3月に正式発行されています。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> | |

| | | |
|-----|---|----------------|
| No. | 高浜 1 - I A S C C - 3 | 事象 : I A S C C |
| 質 問 | <p>(別冊-7炉内構造物-46頁) バッフルフォーマボルトについて、日本機械学会維持規格(JSME S NA1-2008)に基づく試験の方法及び実施時期を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>バッフルフォーマボルトについて、日本機械学会維持規格(JSME S NA1-2008)には、高浜 1 号炉が属するグループ 2 のプラントは「供用開始から運転時間で 5 0 年以内」と試験実施時期が定められています。試験方法としては、ボルト首下部を試験範囲とした超音波探傷試験が規定されています。(添付 1 参照)</p> <p style="text-align: right;">以上</p> | |

パツフルフォーマボルト超音波探傷試験の方法 (概要)



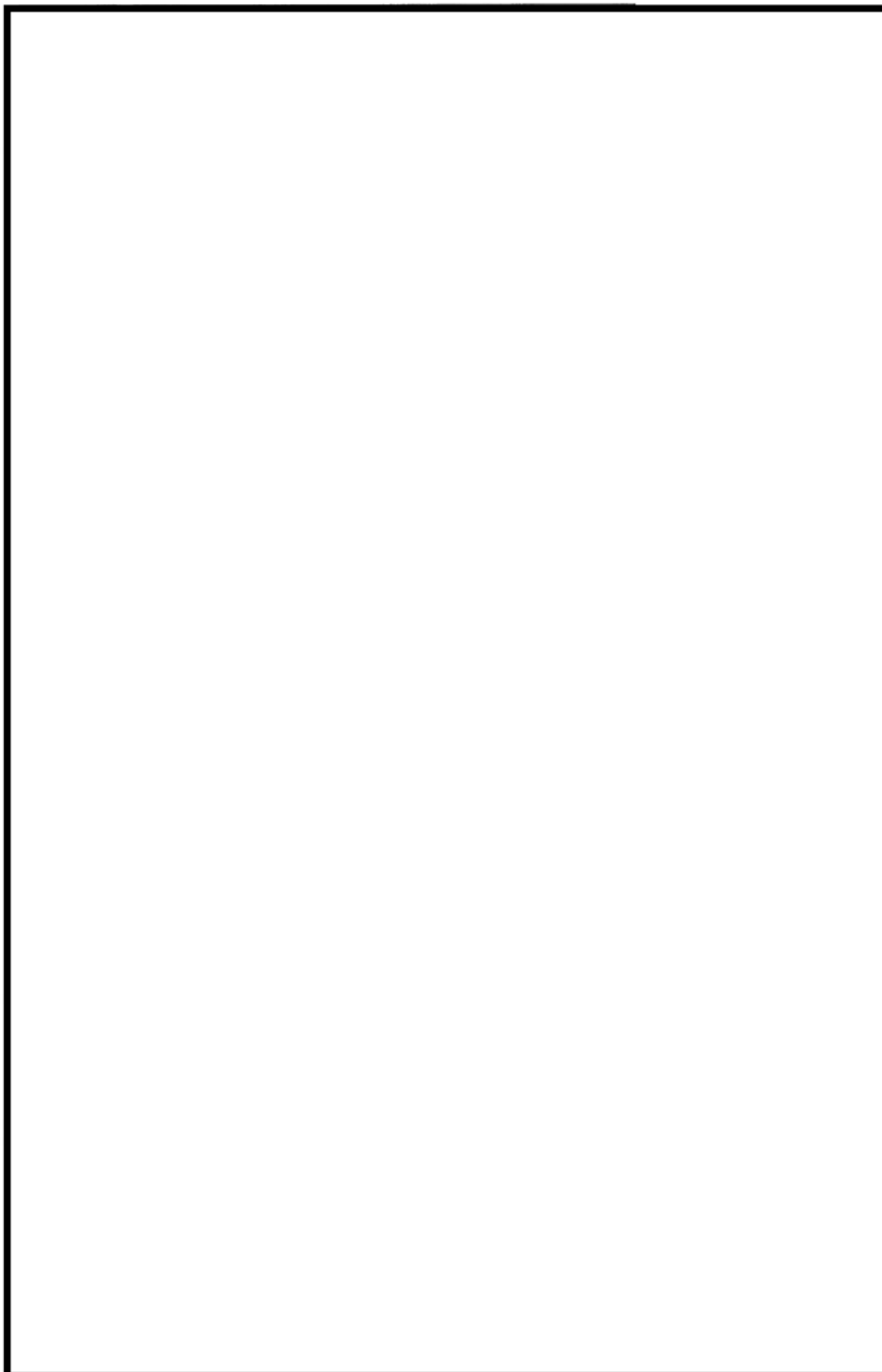
内は商業機密に属しますので公開できません

| | | |
|-----|--|----------|
| No. | 高浜1-IASCC-5 | 事象：IASCC |
| 質 問 | <p>(別冊-14機械設備-5非核燃料炉心構成品-8頁) 制御棒クラスタの被覆管のIASCCについて、使用期間中の中性子照射量及び中性子吸収体の照射スウェリングによる被覆管応力の評価を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>制御棒クラスタは中性子照射量が <input type="text"/> (n/cm²) を超えるまでに取替を実施する運用としています。</p> <p>高浜1号炉の制御棒クラスタは改良型の制御棒クラスタに取替済みであり、中性子照射量が大きくなる先端部分について中性子吸収体と被覆管の間にギャップを設けることで、中性子吸収体の照射スウェリングによる膨張によって被覆管に有意な応力が発生しにくい構造となっています。</p> <p>また、仮に有意な応力が発生しても、応力は周方向であり、被覆管の強度に影響するような周方向のクラックは発生しません。さらに、仮にクラックが発生したとしても、中性子吸収体の1次冷却材中への溶出は微量であり、制御棒の機能（制御能力）に影響することはありません。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> <p style="text-align: center;"><input type="text"/> 内は商業機密に属しますので公開できません</p> | |

| | | |
|-----|--|---------|
| No. | 高浜 1 - 絶縁低下 - 5 rev1 | 事象：絶縁低下 |
| 質 問 | <p>(別冊-4容器-3.3電気ペネトレーション-14頁) 「美浜2号炉で21年間使用したケーブルを供試ケーブルとし」とあるが、供試ケーブルの美浜2号炉における使用環境(温度、放射線線量率)及びその根拠を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>美浜 2 号炉で 2 1 年間使用した供試ケーブルの原子炉格納容器内使用環境は、NISA文書「原子炉格納容器内の安全機能を有するケーブルの布設環境等の調査実施について」(平成19年10月30日付、平成19・07・30原院第5号)に基づき実施した「美浜発電所 2 号機ケーブル布設環境調査結果」(添付 1) のNo. 23 (平均温度：36.7℃、平均線量率：0.4mGy/h) が一番近い使用環境となります。</p> <p>なお、上記供試ケーブルの使用条件は、高浜 1 号炉のピッグテイル型電気ペネトレーションの実機使用環境条件 (60℃：電気ペネトレーションの周囲温度 (約43℃) に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度) に対して、稼働率を保守的に 1 0 0 % と仮定して評価すると包絡しない (これまでの稼働率と今後 2 0 年の稼働率を 8 0 % と仮定すると包絡する) ため、当該供試ケーブルを用いた健全性試験結果による評価から、実機外部リードと同じ製造メーカーで絶縁物がシリコーンゴムの難燃KKケーブルで実施した健全性試験結果 (121℃-7日間、活性化エネルギー) を用いた評価に修正します。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> | |

内は商業機密に属しますので公開できません

美浜発電所2号機 原子炉格納容器内ケーブルの布設環境調査結果



内は商業機密に属しますので公開できません

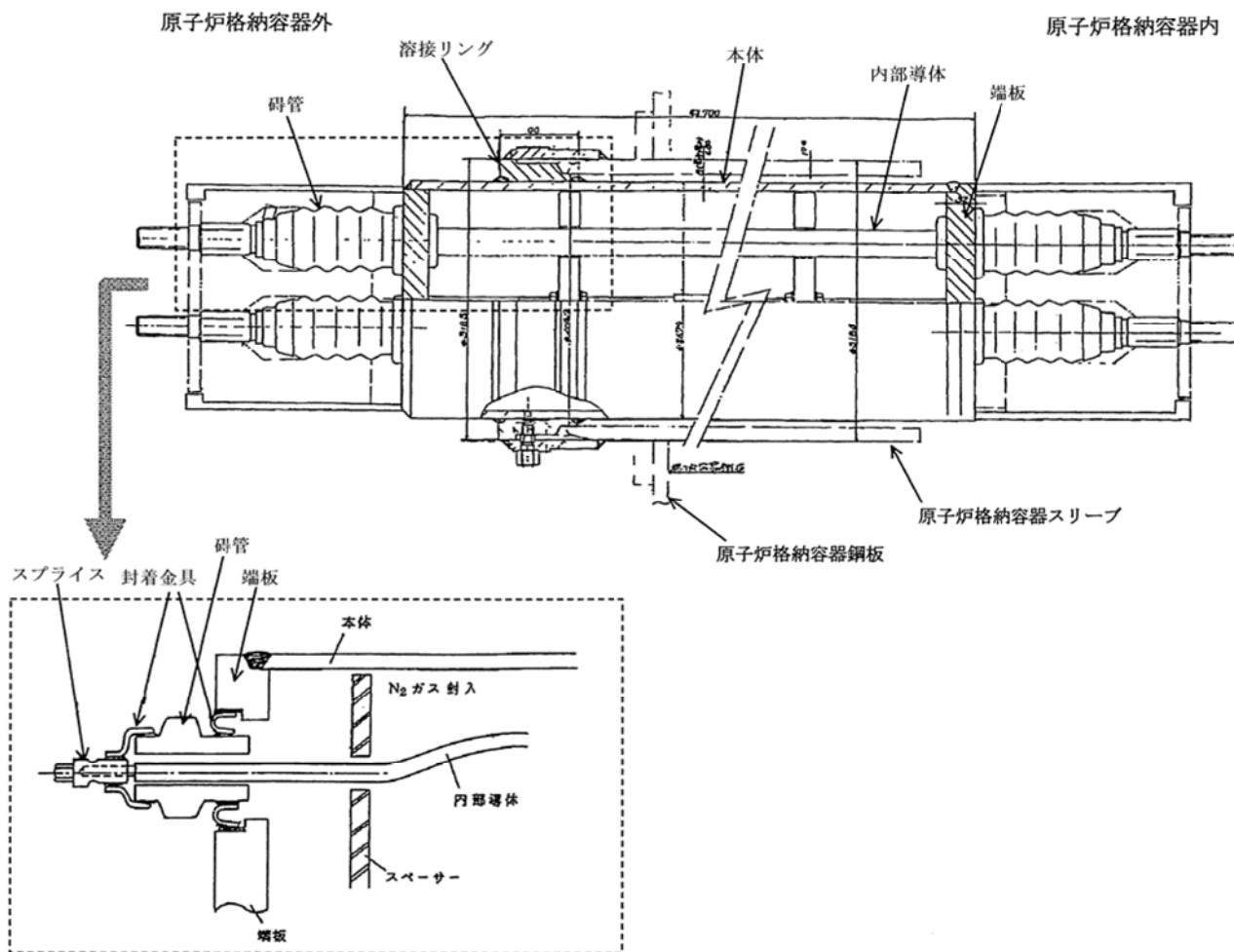
| No. | 高浜 1 - 絶縁低下 - 7 | 事象：絶縁低下 | | | | | | |
|---------|---|---------|------|--------|---------|------------|---------|---------|
| 質 問 | <p>(別冊-4容器-3.3電気ペネトレーション-15頁) 高浜1号炉のピッグテイル型電気ペネトレーションと美浜1号炉において絶縁抵抗測定を実施した代表電気ペネトレーションの同等性について説明すること。</p> | | | | | | | |
| 回 答 | <p>ピッグテイル型電気ペネトレーションの製造メーカーは下表の通りです。</p> <table border="1" data-bbox="454 801 1197 963"> <thead> <tr> <th data-bbox="454 801 678 840">プラント</th> <th data-bbox="678 801 1197 840">製造メーカー</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="454 840 678 884">美浜 1 号炉</td> <td data-bbox="678 840 1197 963" rowspan="3">[Redacted]</td> </tr> <tr> <td data-bbox="454 884 678 929">美浜 2 号炉</td> </tr> <tr> <td data-bbox="454 929 678 963">高浜 1 号炉</td> </tr> </tbody> </table> <p>代表電気ペネトレーションによる絶縁抵抗測定は、美浜 1 号および美浜 2 号で実施していますが、美浜 1 号炉で代表として絶縁抵抗測定を実施した電気ペネトレーションはすべて [Redacted] 製の電気ペネトレーションでしたので、高浜 1 号炉の電気ペネトレーションと製造メーカーが異なるため、同等品ではなく、相当品として、参考値の扱いとしております。</p> <p>なお、美浜 2 号炉で絶縁抵抗測定を実施した代表電気ペネトレーションの製造メーカーは高浜 1 号炉、2 号炉と同じであることから、同等といえます。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> | | プラント | 製造メーカー | 美浜 1 号炉 | [Redacted] | 美浜 2 号炉 | 高浜 1 号炉 |
| プラント | 製造メーカー | | | | | | | |
| 美浜 1 号炉 | [Redacted] | | | | | | | |
| 美浜 2 号炉 | | | | | | | | |
| 高浜 1 号炉 | | | | | | | | |

[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません

| | | |
|-----|--|---------|
| No. | 高浜 1 - 絶縁低下 - 8 | 事象：絶縁低下 |
| 質 問 | <p>(別冊-4容器-3.3電気ペネトレーション-16頁) ブッシング型電気ペネトレーションの製造メーカ、構造及び劣化を考慮すべき部位の使用材料を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>高浜 1 号炉のブッシング型電気ペネトレーションの製造メーカは、全て [] です。</p> <p>構造図を添付 1 に示します。</p> <p>劣化を考慮すべき部位の材料は以下の通りです。なお以下の部位についてはすべて着目すべき経年劣化事象ではない事象として整理しております。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 碍管：アルミナ磁器 ・ 端板：ステンレス鋼 ・ 封着金具：ニッケル合金 ・ スプライス：銅 ・ 溶接リング：炭素鋼 <p style="text-align: right;">以 上</p> | |



内は商業機密に属しますので公開できません



| No. | 高浜1-絶縁低下-20 | 事象：絶縁低下 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|--------------------------|-----------------------|----|---------|----|------------------------|-----|--------------------------|----------------------|--------------------------|------------|-----|----------------------|-------------------|--------------------|------------------|--|----|---------|----|------------------------|-----|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------|-----|-------------------|--------------------|------------------|------------------|
| 質問 | (別冊-6弁-2.1電動装置-21頁) 表2.3-3において、設計基準事故時雰囲気暴露の全ての試験条件が、実機の設計基準事故時条件を包絡していることの根拠を提示すること。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 回答 | <p>添付1に安全解析結果（事故後27時間までの解析を実施）を、添付2に事故時雰囲気暴露の試験条件を添付します。</p> <p>以下（1）及び（2）に示しますように、事故時雰囲気暴露の試験条件は、実機の設計基準事故時条件を包絡しております。</p> <p>（1）口出線・接続部品（シリコンゴム）</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>条件</th> <th>65℃換算*2</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">事故時 雰囲気 暴露 試験</td> <td rowspan="2">[]</td> <td>45699082時間 (1904128日)</td> <td rowspan="2">4460936日 (100年以上)</td> </tr> <tr> <td>61363398時間 (2556808日)</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">設計基 準事故</td> <td rowspan="3">[]</td> <td>431638時間 (17985日)</td> <td rowspan="3">20326日 (55.6年)</td> </tr> <tr> <td>47440時間 (1977日)</td> </tr> <tr> <td>8736時間 (364日)</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：試験初期は [] であるが、安全側は [] で見積もった *2：活性化エネルギー [] での換算値</p> <p>（2）固定子コイル（ポリイミド/ポリイミドイミド）</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>条件</th> <th>65℃換算*2</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">事故時 雰囲気 暴露 試験</td> <td rowspan="2">[]</td> <td>180712時間 (7529日)</td> <td rowspan="2">1268433時間 (100年以上)</td> </tr> <tr> <td>1087721時間 (45322日)</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">設計基 準事故</td> <td rowspan="3">[]</td> <td>8120時間 (1076日)</td> <td rowspan="3">20438時間 (約2.3年)</td> </tr> <tr> <td>3582時間 (149日)</td> </tr> <tr> <td>8736時間 (364日)</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：試験初期は [] であるが、安全側は [] で見積もった *2：活性化エネルギー [] での換算値</p> | | | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 | 事故時 雰囲気 暴露 試験 | [] | 45699082時間 (1904128日) | 4460936日 (100年以上) | 61363398時間 (2556808日) | 設計基 準事故 | [] | 431638時間 (17985日) | 20326日 (55.6年) | 47440時間 (1977日) | 8736時間 (364日) | | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 | 事故時 雰囲気 暴露 試験 | [] | 180712時間 (7529日) | 1268433時間 (100年以上) | 1087721時間 (45322日) | 設計基 準事故 | [] | 8120時間 (1076日) | 20438時間 (約2.3年) | 3582時間 (149日) | 8736時間 (364日) |
| | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事故時 雰囲気 暴露 試験 | [] | 45699082時間 (1904128日) | 4460936日 (100年以上) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 61363398時間 (2556808日) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計基 準事故 | [] | 431638時間 (17985日) | 20326日 (55.6年) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 47440時間 (1977日) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 8736時間 (364日) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事故時 雰囲気 暴露 試験 | [] | 180712時間 (7529日) | 1268433時間 (100年以上) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1087721時間 (45322日) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計基 準事故 | [] | 8120時間 (1076日) | 20438時間 (約2.3年) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3582時間 (149日) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 8736時間 (364日) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

[] 内は商業機密に属しますので公開できません

回 答

(3) 固定子コイル (エポキシ樹脂)

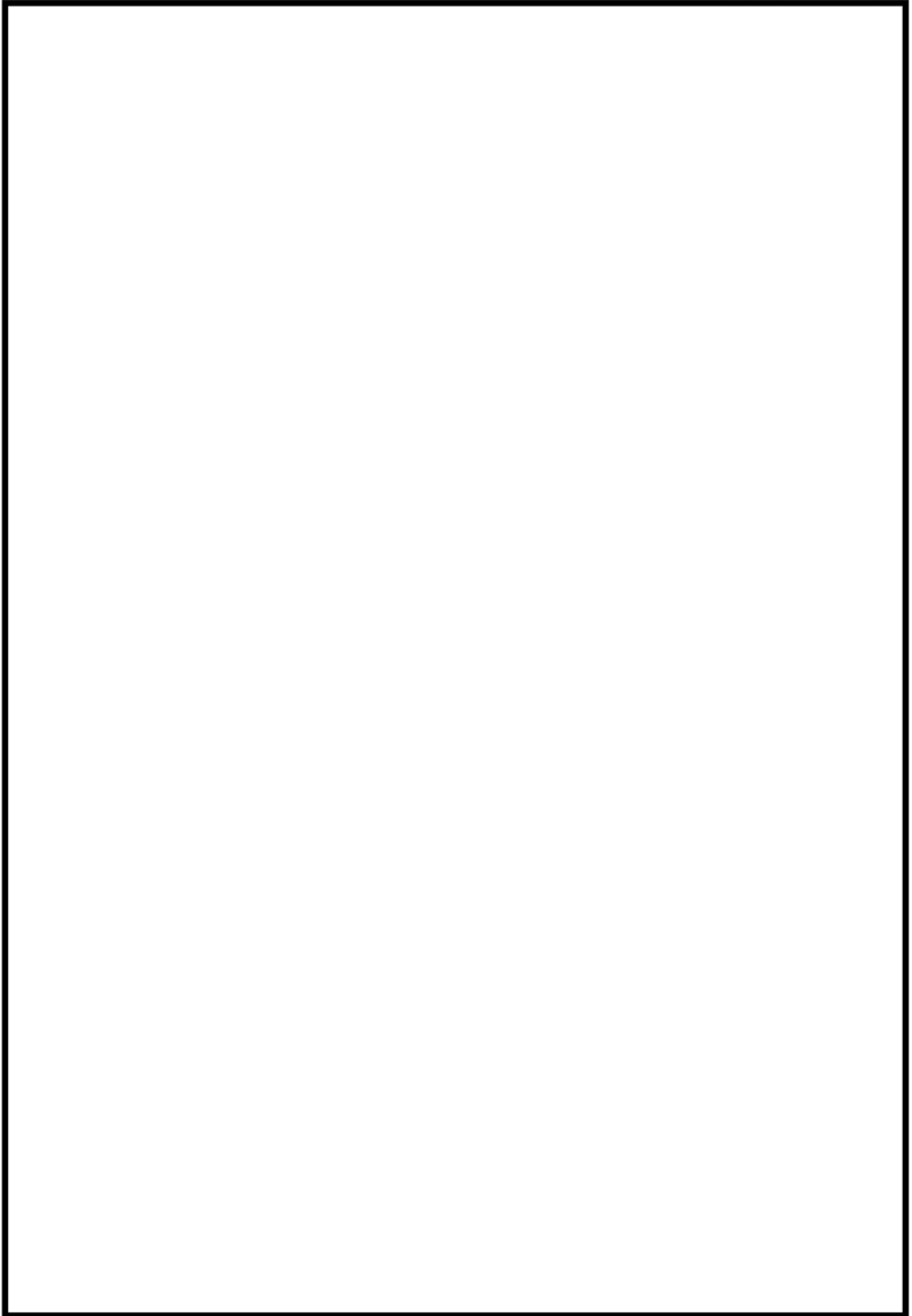
| | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 |
|------------------------|------------|----------------------|----------------------|
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | [redacted] | 115386時間 (4808日) | 899742時間 (100年以上) |
| | | 784356時間 (32681日) | |
| 設計基 準事故 | [redacted] | 5884時間 (245日) | 17525時間 (約2年) |
| | | 2905時間 (121日) | |
| | | 8736時間 (364日) | |

* 1 : 試験初期は [redacted] であるが、安全側は [redacted] で見積もった

* 2 : 活性化エネルギー [redacted] での換算値

以 上

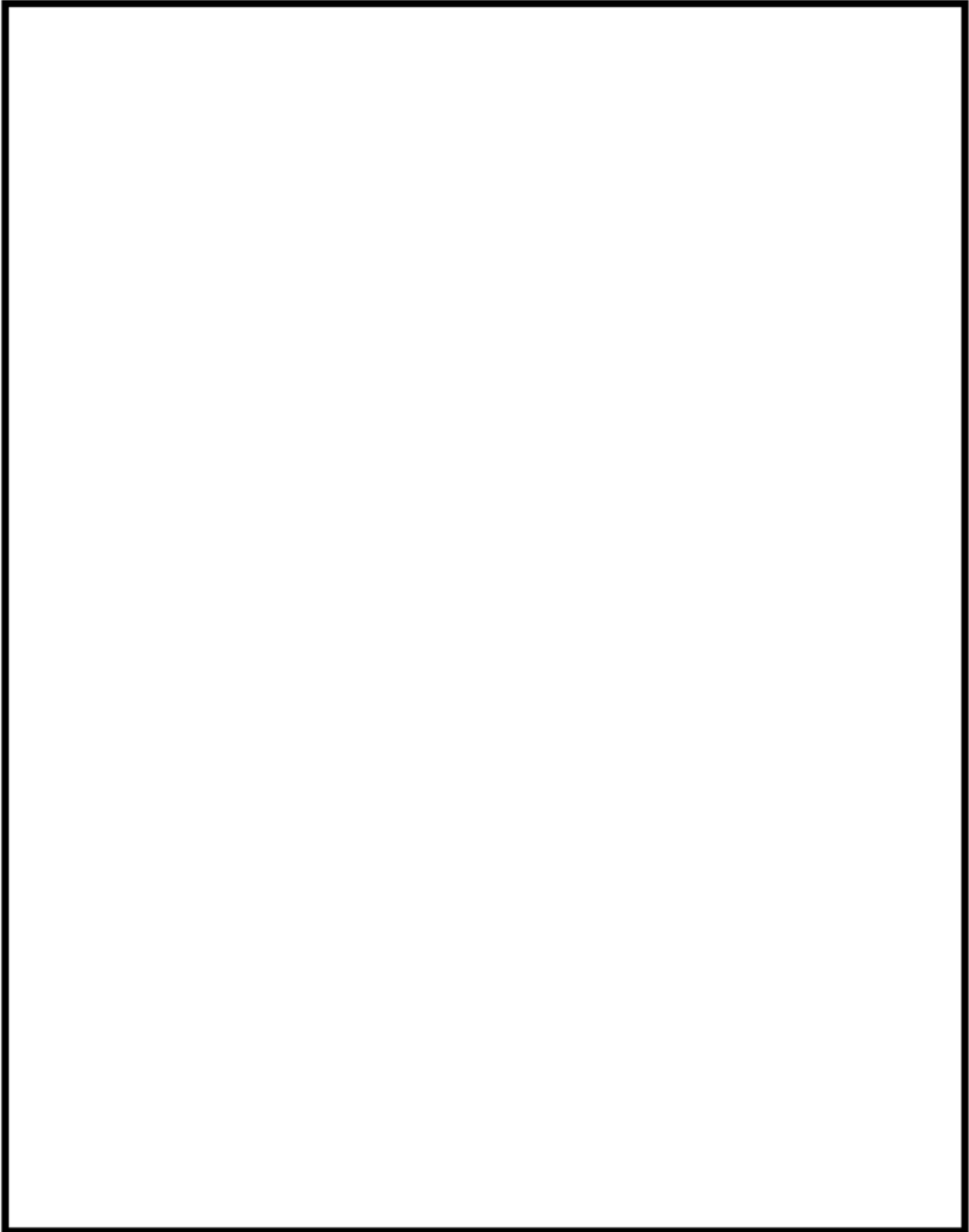
[redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません



高浜 1 号炉 格納容器内圧力温度解析結果



内は商業機密に属しますので公開できません



弁電動装置 事故時雰囲気暴露試験条件



内は商業機密に属しますので公開できません

| | | |
|-----|---|---------|
| No. | 高浜 1－絶縁低下－ 2 1 | 事象：絶縁低下 |
| 質 問 | <p>(別冊-6弁-2.1電動装置-21頁) 表2.3-4の判定に係るメーカー基準の内容及びその妥当性についての説明を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>IEEE Std. 382-1996の「6.5章 判定基準」に「仕様要求に基づく機能を満足すること」と記載されており、これを具体化する際、実機に求められる機能を判定する方法として、メーカー基準である「動作確認」を用いたものです。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> | |

| | | |
|-----|---|---------|
| No. | 高浜 1 - 絶縁低下 - 2 3 | 事象：絶縁低下 |
| 質 問 | <p>(別冊-6弁-2.1電動装置-23頁) 代表機器以外の設計基準事故時雰囲気内で機能要求のある電動装置のモータについて、代表機器による評価で包絡されることの根拠を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>代表機器のループ余熱除去系第 1 入口弁電動装置の型式はSMB (SMB-3) で、高浜 1 号炉の事故時雰囲気内で機能要求のあるその他の電動装置の電動機の型式もSMB (SMB-0、-00、-000、-3) で同じ型式であり、大きさは異なるが、基本的な構造、使用材料は同等であることから、代表機器による評価で包絡されるものと考えています。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> | |

| | | |
|-----|---|---------|
| No. | 高浜 1－絶縁低下－ 2 4 | 事象：絶縁低下 |
| 質 問 | <p>(別冊-電気設備/計測制御設備-メタルクラッド開閉装置/パワーセンタ/制御設備-24/20/28頁)</p> <p>メタルクラッド開閉装置、パワーセンタ及び非常用ディーゼル発電機制御盤の保護リレーの評価に関し、同種保護リレーのサンプリング調査結果より評価を実施したとあるが、絶縁材料、絶縁種別の同等性についての説明を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>実機の保護リレーと、サンプリング調査で用いた保護リレーは同一メーカー品であり、入力トランスの絶縁仕様（絶縁材料、絶縁種別）は同等となっています。 材料については下記の通りです。</p> <p>保護リレーの入力トランス巻線仕様</p> <ul style="list-style-type: none"> ・巻線種類 ホルマール銅線 ・素線絶縁 ホルマール樹脂（A種絶縁） ・対地絶縁 フェノール樹脂（A種絶縁） <p>なお、使用電圧についてもDC 1 2 5 V、AC 1 1 5 Vは従来から変更が無いため、同じ条件で使用しています。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> | |

| | | |
|-----|---|---------|
| No. | 高浜1－絶縁低下－26 | 事象：絶縁低下 |
| 質 問 | <p>(別冊-4容器-3.3電気ペネトレーション-14頁) 「美浜2号炉で21年間使用したケーブルを供試ケーブルとし」とあるが、 供試ケーブルと高浜1号炉のピッグテイル型電気ペネトレーションの外部 リードの同等性についての説明を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>両者とも同じ[]KKケーブル（シリコンゴム絶縁シリコン ゴムシース）であり、外部リードケーブルとしての耐環境性能や1次ポッ ティング材（シリコン樹脂）との接着性（電気ペネ内に対する蒸気の進 入防止）についても同等であると考えます。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> | |



内は商業機密に属しますので公開できません

| No. | 高浜1－その他の経年劣化事象－13 | 事象：流れ加速型腐食－5 | | | | | | |
|------|--|---------------|------|-------------------------|---------------|-----|-----|------|
| 質 問 | <p>(別冊-13空調設備-3空調ユニット-17頁)</p> <p>海水冷却コイルの腐食（流れ加速型腐食）について、1次系冷却水ポンプ室冷房ユニットにおける銅合金の伝熱管での流れ加速型腐食の発生の評価内容、渦流探傷試験の実施状況（検査頻度、検査結果等）及び施栓等の措置の実績を提示すること。</p> | | | | | | | |
| 回 答 | <p>海水冷却コイルは銅合金であり、内部流体が海水であることから、流れ加速型腐食が生じる可能性が考えられます。</p> <p>しかしながら、海水中での潰食発生限界流速と海水冷却コイルの流速を比較し、流れ加速型腐食発生の可能性を評価すると、表1に示すとおり海水冷却コイルの流速は、海水中での潰食発生限界流速に対して十分小さく、流れ加速型腐食が発生する可能性は小さいと考えられます。</p> <p>また、分解点検時の渦流探傷検査で有意な減肉が認められていないことから、流れ加速型腐食の発生により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考えます。</p> <p>表1 高浜1号炉 1次系冷却水ポンプ室冷房ユニット海水冷却コイルの流速と潰食発生限界流速との比較</p> <table border="1" data-bbox="469 1142 1337 1317"> <thead> <tr> <th data-bbox="469 1142 711 1236">管側流速</th> <th data-bbox="711 1142 1002 1236">潰食発生限界流速 (流水中における流速)</th> <th data-bbox="1002 1142 1337 1236">管側流速／潰食発生限界流速</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="469 1236 711 1317">[]</td> <td data-bbox="711 1236 1002 1317">[]</td> <td data-bbox="1002 1236 1337 1317">約1／4</td> </tr> </tbody> </table> <p>しかしながら、流体が海水であるため、貝等の異物が海水に混入した場合、流れ加速型腐食が発生する可能性が否定できず、海水への混入物の大きさ、形態、付着状態は不確定であり、管壁とのすき間の局所的な流速の増大については、一律で定量的な評価は困難であります。</p> <p>このため、海水冷却コイルの腐食（流れ加速型腐食）に対しては、定期的な渦流探傷検査を実施し、有意な腐食がないことを確認しています。</p> <p>したがって、今後も現状保全を継続することで、機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと評価しています。</p> <p>渦流探傷試験の実施状況としては、定期的 [] に冷却コイルの渦流探傷検査を実施しています。</p> <p>検査の判定基準は、減肉率が [] %未満であることとしています。点検結果の例として27回定検での渦流探傷検査の結果を添付に示します。</p> <p>なお、これまでに当該箇所の施栓等の措置を行った実績はありません。</p> | | 管側流速 | 潰食発生限界流速 (流水中における流速) | 管側流速／潰食発生限界流速 | [] | [] | 約1／4 |
| 管側流速 | 潰食発生限界流速 (流水中における流速) | 管側流速／潰食発生限界流速 | | | | | | |
| [] | [] | 約1／4 | | | | | | |

[] 内は商業機密に属しますので公開できません

| | | | | | | | | | |
|--|------------|------------------|-----------|----|----|-----|------------|-----------------|------------|
| Aクラス | | | | | | | | | |
| 関電 | 原子炉 保修課 | 課長 | 係長 | 班長 | | | | | |
| L10定期検査 | | 機械設備 アドバイザー | | | | | | | |
| 関西電力㈱ 高浜発電所 第1号機 | | | | | | | | | |
| 資料室管理番号 | | 1-2001-27R014 -2 | | | | | | | |
| 第27回 工事件名:換気空調設備定期点検工事 (工事コード:101P005964E231) | | | | | | | | | |
| (機械関係) ✓ 総括報告書 兼定期点検工事記録 | | | | | | | | | |
| 定期等管理委託会社 原子炉管理係 課長 受託責任者 点検管理員 確認 | | | | | | | | | |
| 発行 | 高浜作業所 | | | | | | | | |
| 作成 認可 欄 | 現場 代理人 | 工事主任 | 作業 責任者 | 品質 | 安全 | 放管 | | | |
| | 所属 | | | | | | | | |
| | 異物 | | | | | | 作成 | | |
| | | | | | | 作成日 | 平成23年4月18日 | | |
| 配布 先 | 関電 | | | | | | 控 | 図面番号 | 原紙保管:高浜作業所 |
| | 1 | | | | | | 原紙 | KT1-D01-56052-1 | No. |

注文主: [REDACTED]
工事番号: OB/TA1 11-007 (741)
作成日: 平成 23 年 2 月 2 日

渦流探傷検査結果報告書

関西電力株式会社 高浜発電所 1号機 第2.7回定検
換気空調設備定期点検工事

[REDACTED]
所 長 品 管 作 責

1. 検査機器 1次系冷却水ポンプ室冷房ユニット VS-34 (A)

2. 検査期間 平成23年 2月 2日

3. 細管仕様 渦流探傷検査仕様による

4. 検査仕様

| | |
|-------------|-------------|
| a) 渦流探傷装置 | 渦流探傷検査仕様による |
| b) 検査周波数 | 渦流探傷検査仕様による |
| c) 使用プローブ | 渦流探傷検査仕様による |
| d) 位相・感度の設定 | 渦流探傷検査仕様による |
| e) 演算条件 | 渦流探傷検査仕様による |
| f) 抽出基準 | 渦流探傷検査仕様による |

5. 検査員 [REDACTED]

6. 検査結果

1次系冷却水ポンプ室冷房ユニットVS-34 (A) 細管検査を検査仕様に基づき施工致しました結果、傷波形は検出されておられません。
尚、当該機器につきましては細管内流体が海水の為、引き続き定期的な検査の実施を御推奨致します。

以上、御報告申し上げます。

| No. | 高浜1－その他の経年劣化事象－14 | 事象：流れ加速型腐食－6 | | | | | | | | |
|------|---|-------------------------|-----------------|------|-------------------------|-----------------|-----|--|--|------|
| 質 問 | <p>(別冊-13空調設備-4冷凍機-13頁)</p> <p>伝熱管の内面腐食（流れ加速型腐食）について、チラーユニットにおける銅合金の伝熱管での流れ加速型腐食の発生の評価内容、渦流探傷試験の実施状況（検査頻度、検査結果等）及び施栓等の措置の実績を提示すること。</p> | | | | | | | | | |
| 回 答 | <p>チラーユニットの凝縮器および蒸発器の伝熱管は銅合金であり、流体による保護皮膜破壊により流れ加速型腐食が発生する可能性があります。</p> <p>しかしながら、潰食発生限界流速と伝熱管内の流速を比較し、流れ加速型腐食発生の可能性を評価すると、表1に示すとおり凝縮器の伝熱管の流速は、潰食発生限界流速に対して十分小さく、流れ加速型腐食が発生する可能性は小さいと考えられます。</p> <p>ただし、管側流体が海水である凝縮器については、貝等の異物の付着により流れ加速型腐食が発生する可能性は否定できず、貝等の混入物の大きさ、形態、付着状態は不確定であり、管壁とのすき間の局所的な流速の増大については、一律で定量的な評価は困難であります。</p> <p>一方、蒸発器については、定期的な渦流探傷検査を実施し、これまでの減肉管理の実績から急激な減肉の発生する可能性は小さいと考えられる。</p> <p>このため、凝縮器と蒸発器の伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）に対しては、現状保全として定期的な渦流探傷検査を実施しています。</p> <p>したがって、今後も現状保全を継続することで、機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと評価しています。</p> <p>表1 高浜1号炉 凝縮器伝熱管の流速と潰食発生限界流速との比較</p> <table border="1" data-bbox="448 1435 1310 1581"> <thead> <tr> <th data-bbox="448 1435 571 1525">対象機器</th> <th data-bbox="571 1435 724 1525">管側流速</th> <th data-bbox="724 1435 1062 1525">潰食発生限界流速 (流水中における流速)</th> <th data-bbox="1062 1435 1310 1525">流速／潰食発生 限界流速</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="448 1525 571 1581">凝縮器</td> <td data-bbox="571 1525 724 1581"></td> <td data-bbox="724 1525 1062 1581"></td> <td data-bbox="1062 1525 1310 1581">約1／2</td> </tr> </tbody> </table> <p>凝縮器伝熱管の渦流探傷試験の実施状況としては、定期的 <input type="text"/> に渦流探傷検査を実施しています。検査範囲は伝熱管の内外面全体としており、判定基準は減肉率が <input type="text"/> %以上の減肉指示がないこととしています。</p> <p>点検結果の例として、添付－1に第27回定検における渦流探傷検査結果を示します。</p> <p>これまでの補修実績としてはH15年に一部細管取替えを実施した結果を添付－2に示します。</p> <p>蒸発器伝熱管の渦流探傷試験の実施状況としては、定期的 <input type="text"/> に渦流探傷検査を実施しています。検査範囲は伝熱管の内外面全体とし</p> | | 対象機器 | 管側流速 | 潰食発生限界流速 (流水中における流速) | 流速／潰食発生 限界流速 | 凝縮器 | | | 約1／2 |
| 対象機器 | 管側流速 | 潰食発生限界流速 (流水中における流速) | 流速／潰食発生 限界流速 | | | | | | | |
| 凝縮器 | | | 約1／2 | | | | | | | |

ており、判定基準は減肉率が \square %以上の減肉指示がないこととしています。

点検結果の例として、添付-3に第25回定検における渦流探傷検査結果を示します。

これまでの補修実績として第20回定検において施栓を実施した結果を添付-4に示します。

\square 内は商業機密に属しますので公開できません

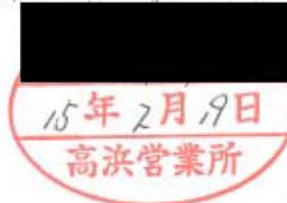
| | | | | | |
|---------------------------|------------------------------------|------------------|--------------|------|------|
| A クラス | 電気保守課 | 課長 | 係長 | 班長 | 係 |
| | 課長 係長 班長 作業長 係 | | | | |
| 電気技術 アドバイザー | 関西電力(株) 高浜発電所 1号機 (第27回 定期点検工事) | 機械技術 アドバイザー | | | |
| | 工事件名 <u>チラーユニット定期点検工事</u> | 1号機定期点検係 | | | |
| 総括報告書 兼定期点検工事記録 | | | | | |
| 工事コード101P005958M170 | | | | | |
| 確 認 | 定検等管理委託会社 | | | | |
| | 課長 | 受託責任者 | 定検管理員 | | |
| | | | | | |
| 発 行 | 高浜事業所 | | | | |
| 作 成 認 可 機 | 品質保証課長 | 安全課長 | 電気課長 | 電気係長 | 電気作責 |
| | | | | | |
| | 技術課長 | 機械課長 | 機械係長 | 機械作責 | |
| | | | | | |
| 配 付 先 | 開電 | | | | 合計 |
| | 1 | | | | 1 |
| | | 作成日 | 平成23年 4月 27日 | | |
| | 文書番号 | T01-27-機B-0122-E | | | |
| | 原紙保管 | 機械課機械B係 | | | |

23年4月27日
高浜事業所

非破壊検査報告書

| | | | |
|--|--------|--------------------------------|--|
| 工事名称又は製品名 | | 関西電力(株)高浜発電所1号機 A-チラーユニット（凝縮器） | |
| 工事番号又は図面番号 | | _____ | |
| 細管仕様 | | _____ | |
| 準拠する規格・図書 | | _____ | |
| 検査年月日 | | 平成23年 1月25日～ 1月 26日 | |
| 検査場所 | | 関西電力(株) 高浜発電所1号機屋内 | |
| 技術者・資格No. | | _____ | |
| 探傷システム | 検査システム | _____ | |
| | 渦流探傷器 | _____ | |
| | 巻き取り装置 | _____ | |
| | プローブ | _____ | |
| 探傷条件 | 検査周波数 | _____ | |
| | 位相・感度 | _____ | |
| <p>検査結果</p> <p>設備本数294本について渦流探傷検査を適用した結果、抽出基準を超える信号は検出されませんでした。</p> <p>既止栓および不入管はありませんでした。</p> <div style="border: 1px solid black; height: 200px; width: 100%; margin-top: 10px;"></div> | | | |

□内は商業機密に属しますので公開できません

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|----|------------|----------|----|----|------------|---|----|------|--------------------|------|----|
| A クラス | | 客先 | | 課長 | 係長 | 班長 | [Redacted] | | | | | | |
| <p>関西電力(株) 高浜発電所 1号機</p> <p>工事件名 チラーユニット細管修繕工事</p> <h2 style="text-align: center;">総括報告書</h2> <p style="text-align: center;">兼定期点検工事記録</p> <div style="text-align: center;">  </div> | | | | | | | | | | | | | |
| 発行 | [Redacted] | | | 高浜営業所 | | | | | | | | | |
| 作成認可欄 | | | 技術課長 | 専任課長(安全) | | | | | | | | | |
| | | | [Redacted] | | | | | | | | | | |
| | | | 課長 | 係長 | 作責 | | | | | | | | |
| 配付先 | 客先 | | | | | | | 控 | 合計 | 改訂 | 年月日 | 主な改訂 | 捺印 |
| | 1 | | | | | | | 1 | 2 | 作成日 | 平成 15年 2月 19日 | | |
| | | | | | | | | | | 原紙保管 | 機械課機械B係 | | |
| | | | | | | | | | | 文書番号 | T1-02-機B-9189-E-00 | | |

[Redacted] 高浜営業所

1. 工事施工範囲・施工内容

(1) 施工範囲

- A-チラーユニット凝縮器細管取替
- B-チラーユニット凝縮器細管取替

本
 本

(2) 施工内容

- a. 作業準備・後片付け 1式
作業エリア養生・撤去
工具・使用部材他点検
- b. 細管ECT 1式
- c. 凝縮器細管抜管 1式
- d. 新管挿入・拡管 1式
- e. 拡管部管板漏洩確認 1式

(施工範囲外)

- 系統隔離・復旧に伴う弁及び電源操作 1式
- 水室開放・細管清掃 1式
- N₂加圧 1式

2. 工事期間

自 平成 14年 11月 18日
至 平成 15年 2月 28日

高浜営業所

内は商業機密に属しますので公開できません

非破壊検査報告書

| | | | |
|---|--------|---------------------------------|--|
| 工事名称又は製品名 | | 関西電力(株)高浜発電所1号機 A-チラーユニット (蒸発器) | |
| 工事番号又は図面番号 | | | |
| 細管仕様 | | | |
| 準拠する規格・図書 | | | |
| 検査年月日 | | 平成20年4月15日～4月17日 | |
| 検査場所 | | 関西電力(株)高浜発電所1号機屋内 | |
| 技術者・資格№ | | | |
| 探傷システム | 検査システム | | |
| | 渦流探傷器 | | |
| | 巻き取り装置 | | |
| | プローブ | | |
| 探傷条件 | 検査周波数 | | |
| | 位相・感度 | | |
| <p>検査結果</p> <p>設備本数313本の内、既止栓管1本を除く312本について渦流探傷検査を適用した結果、抽出基準を超える信号は検出されませんでした。</p> <p>既止栓および不入管はありませんでした。</p> | | | |

内は商業機密に属しますので公開できません

| | | | | | | | | | | |
|----------|--------------------------|---|-------|----------------|------|----|------------------|---------------------|------|----|
| | | i.2u | | 様式 要7-6-30(総括) | | | | | | |
| Aクラス | 客先 | 所長 | 副所長 | 技術次長 | 安全次長 | 課長 | 係長 | 班長 | | |
| | | [Redacted] | | | | | | | | |
| 120-R015 | | | | | | | | | | |
| 資料室保管 | | | | | | | | | | |
| | | 関西電力(株) 高浜発電所 1号機 (第 20 回 定検工事) | | | | | | | | |
| | | 工事件名 <u>チラーユニット定期点検工事</u> | | | | | | | | |
| | | <h2>総括報告書</h2> <p>兼定期点検工事記録</p> | | | | | | | | |
| | | <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; display: inline-block;"> <p>H13年10月16日 高浜営業所</p> </div> | | | | | | | | |
| 審査および認可 | 定検統括会社: [Redacted] 高浜営業所 | | | | | | | | | |
| | 統括課長 | 統括係長 | 統括責任者 | | | | | | | |
| 発行 | 高浜営業所 | | | | | | | | | |
| | | | 技術課長 | 専任課長 (安全) | | | | | | |
| | | | 課長 | 係長 | 作業 | | | | | |
| 作成認可欄 | [Redacted] | | | | | | | | | |
| | [Redacted] | | | | | | | | | |
| 配付先 | 客先 | | | | 控 | 合計 | 改訂 | 年月日 | 主な改訂 | 捺印 |
| | / | | | | / | 2 | 作成日 | 平成13年10月16日 | | |
| | | | | | | | 原紙保管 | 機械課機械B係 | | |
| | | | | | | | 文書番号 | T1-20-機B-8400-122-E | | |
| | | | | | | | [Redacted] 高浜営業所 | | | |

2. 結論

(1) A-チラーユニット

〈凝縮器〉

設備本架 [] の内、既施検査 [] を除く [] について渦流探傷検査を適用した結果、 [] の細管から内面減肉信号が検出されました。
 磁性スケールの影響を除くため真鍮ブラシによる洗浄後、検査を実施した細管 [] に関しては、減肉量 [] でしたが、表面皮膜の損失も懸念されることから施検を推奨します。
 その他、ナイロンブラシによる洗浄後、検査を実施した細管に関しては、減肉量 [] の細管は [] で最大減肉量は [] でした。
 また、該当部をファイバーにより観察した結果、全ての細管において付着物が認められましたが、予防保全の観点から [] の細管については施検を推奨します。

〈蒸発器〉

設備本架 [] について渦流探傷検査を適用した結果、 [] の細管から内面減肉信号が検出されました。(アドレス [])
 検出された信号の減肉量は [] であるため施検を推奨します。また、該当部位をファイバーにより観察した結果、減肉が認められました。
 なお、前回チャートの見直しを行った結果、同一位置に抽出基準未満の信号が認められました。

(2) B-チラーユニット

〈凝縮器〉

設備本架 [] の内、既施検査 [] を除く [] について渦流探傷検査を適用した結果、 [] の細管から内面減肉信号が検出されました。(磁性スケールが弁別可能な手法を適用)
 [] について前回チャートの見直しを実施した結果、同一箇所に信号が認められました。
 原因指示が得られた細管の内 [] についてファイバーによる観察をした結果、アドレス []
 [] 最大減肉 [] については磁性スケールの付着により減肉は確認できませんでしたが、アドレス [] は減肉が確認されました。

〈蒸発器〉

設備本架 [] について渦流探傷検査を適用した結果、減肉信号は検出されませんでした。

(3) 報告基準未満(減肉量 [] 未満)の信号に関して

- 1) 凝縮器から、軽微なフィン部損傷の信号が検出されました。
- 2) 蒸発器から、冷却水の凍結膨張による管の内径変化と推測される信号が検出されました。

| 機器名 | フィン部損傷 | 内径変化 |
|-----|--------|------|
| A | [] | [] |
| B | [] | [] |

フィン部損傷リスト
 A-チラー凝縮器『資料-1』
 B-チラー凝縮器『資料-2』
 内径変化リスト
 A-チラー蒸発器『資料-3』
 B-チラー蒸発器『資料-4』

3. 細管処置

下表に示すアドレスが施検されました。

| 機器名 | 今回施検(アドレス) | 既施検 | 合計(止検率) | 備考 |
|-----|------------|-----|---------|-------|
| A | [] | [] | [] | (待機中) |
| B | [] | [] | [] | |


| No. | 高浜1－その他の経年劣化事象－15 | 事象：流れ加速型腐食－7 | | | | | | |
|------|---|-----------------|------|-------------------------|-----------------|--|--|------|
| 質 問 | <p>(別冊-15電源設備-1.2ディーゼル機関-102頁) 空気冷却器伝熱管の内面の腐食（流れ加速型腐食）について、銅合金の伝熱管での流れ加速型腐食の発生の評価内容及び渦流探傷試験の実施状況（検査頻度、検査結果等）を提示すること。</p> | | | | | | | |
| 回 答 | <p>空気冷却器伝熱管には銅合金を使用しており、内部流体が海水であるため、保護皮膜破壊により流れ加速型腐食が発生する可能性が考えられます。</p> <p>しかしながら、潰食発生限界流速と伝熱管内の流速を比較し、流れ加速型腐食発生の可能性を評価すると、表1に示すとおり伝熱管内の流速は、潰食発生限界流速に対して十分小さく、流れ加速型腐食が発生する可能性は小さいと考えられます。</p> <p>表1 高浜1号炉 空気冷却器伝熱管の流速と潰食発生限界流速との比較</p> <table border="1" data-bbox="478 985 1276 1120"> <thead> <tr> <th data-bbox="478 985 683 1081">管側流速</th> <th data-bbox="683 985 1032 1081">潰食発生限界流速 (流水中における流速)</th> <th data-bbox="1032 985 1276 1081">流速／潰食発生 限界流速</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" data-bbox="478 1081 1032 1120"></td> <td data-bbox="1032 1081 1276 1120">約2／5</td> </tr> </tbody> </table> <p>しかしながら、内部流体が海水であるため、貝等の異物が海水に混入した場合、流れ加速型腐食が発生する場合があります。海水への混入物の大きさ、形態、付着状態は不確定であり、管壁との隙間の局所的な流速の増大については一律で定量的な評価が困難であります。</p> <p>このため、現状保全として、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認しています。また、定期的に渦流探傷検査を実施し、有意な減肉のないことを確認しています。</p> <p>したがって、今後も現状保全を継続することで、機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと評価しています。</p> <p>空気冷却器伝熱管の渦流探傷検査の実施状況としては、 の頻度で渦流探傷検査を行っています。</p> <p>渦流探傷検査の確認範囲は伝熱管内面全体としており、判定基準は推定減肉率が %未満であることおよびプローブの入管が不可でないこととしています。</p> <p>点検結果の例として、至近の検査記録を添付－1に示します。なお、これまでに空気冷却器伝熱管の補修を実施した実績はありません。</p> | | 管側流速 | 潰食発生限界流速 (流水中における流速) | 流速／潰食発生 限界流速 | | | 約2／5 |
| 管側流速 | 潰食発生限界流速 (流水中における流速) | 流速／潰食発生 限界流速 | | | | | | |
| | | 約2／5 | | | | | | |

 内は商業機密に属しますので公開できません

資料室管理番号
1-2002-2014T003

竣工日 6/30

A クラス

| | | | | | | | |
|--|-------|--------|------|------|-------|-------|---------------|
|  | 関西電力 | 課長 | 係長 | 班長 | 作業長 | 係 | |
| | | | | | | | |
| <p>関西電力㈱高浜発電所 1号機</p> <p>工事件名：DG空気冷却器他細管停止時検査工事（第2回）</p> <p>総括報告書</p> <p>工事コード：141P001996</p> | | | | | | | |
| 作成認可欄 | 現場代理人 | 品管(審査) | 安全管理 | 異物管理 | 放射線管理 | 作責・作成 | |
| | | | | | | | |
| | 配布先 | 関西電力 | | | | 控 | 発行 |
| | | | | | | | 図書番号 |
| 1 | | | | | 1 | 作成 | 平成 26年 6月 25日 |
| | | | | | | 原本保管 | |

別紙－1

| 渦流探傷検査記録 | | 検査員 |
|----------|--|-------------------|
| プラント名 | 高浜発電所 第1号機 | 検査員 [Redacted] |
| 機器名 | 1B空気冷却器 D41864-A2(BR)右側 | |
| 検査期間 | H26.6.12 | |
| 使用機器 | [Redacted] | |
| 検査範囲 | 直管部全長 | |
| 判定基準 | <ul style="list-style-type: none"> ・推定減肉率 [Redacted] 未満であること ・プローブ不入管は不合格（「想定事象の処置」にもかかわらず、探傷プローブが挿入できないものについては不合格。） | |
| 許容施栓数 | 折流毎 [Redacted]，全体 [Redacted] | |
| 既施栓本数 | 0本 | |
| 結果 | <p>1. 検査本数</p> <p>[Redacted]</p> <p>2. 検査結果</p> <p>(1) 判定基準以上の減肉指示も検出せず。</p> <p>(2) プローブ不入管はなし</p> | |
| 判定結果 | 良 | |

[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません