

川内原子力発電所 2号炉の 高経年化技術評価 (低サイクル疲労)

平成 27 年 10 月 5 日
九州電力株式会社

目 次

1. 低サイクル疲労について	2
2. 評価対象設備及び川内 1 号炉との相違点	2
3. 技術評価	4
3.1 適用規格	4
3.2 評価対象部位	4
3.3 過渡条件の設定	5
3.4 評価結果	7
4. 現状保全	9
5. 総合評価	9
6. 高経年化への対応	9

低サイクル疲労

1. 低サイクル疲労について

低サイクル疲労割れは、プラントの起動・停止時等に受ける温度・圧力変化により、機器の構造不連続部等に局所的に大きい応力が生じ、それが繰り返された場合に、疲労き裂が発生する可能性がある。

低サイクル疲労評価では、プラントの起動・停止時等に温度・圧力変化の影響を受ける機器を評価対象として抽出し、抽出された全評価対象機器に対して疲労評価を実施し、疲労累積係数(UF)が許容値以下(UF<1)となることを確認している。

2. 評価対象設備及び川内1号炉との相違点

主な評価対象設備及び川内1号炉と2号炉の相違点は以下のとおり。なお、過渡回数の算出の考え方については、1号炉と2号炉で同様である。

機 器	相違点	評価結果			
		部位（代表）	疲労係数	川内1号	川内2号
余熱除去ポンプ	なし	ケーシング	設計UF	0.090	0.092
			環境UF	0.407	0.419
1次冷却材ポンプ	なし	吐出ノズル	設計UF	0.049	0.051
			環境UF	0.506	0.527
再生熱交換器	2号取替済みのため形状（寸法）に相違あり（大型化）	管板部	設計UF	0.126	0.059
			環境UF	0.159	0.219
余熱除去冷却器	なし	管板部	設計UF	0.048	0.053
			環境UF	0.071	0.079
蒸気発生器本体	1号取替済（54F型） 2号取替未済（51M型）	給水入口管台	設計UF	0.091	0.158
			環境UF	0.463	0.502
原子炉容器本体	なし	スタッドボルト	設計UF	0.199	0.221

低サイクル疲労

機 器	相違点	評価結果			
		部位（代表）	疲労係数	川内 1 号	川内 2 号
加圧器本体	なし	サージ用管台	設計UF	0.031	0.033
			環境UF	0.189	0.197
炉内構造物	なし	下部炉心支持柱	設計UF	0.002	0.002
			環境UF	0.030	0.030
機械 ^h 補レション	なし	主給水管貫通部	設計UF	0.216	0.209
ステンレス鋼配管	なし	余熱除去系統配管 (RHR入口隔離弁～CV貫通部)	設計UF	0.018	0.026
			環境UF	0.113	0.163
炭素鋼配管	なし	主給水系統配管 (CV貫通部～SG給水管台)	設計UF	0.015	0.015
			環境UF	0.112	0.112
1次冷却材管	なし	加圧器サージ管台	設計UF	0.027	0.027
			環境UF	0.142	0.145
配管 ^h ート	材料・構造が一部相違	配管とパッド ^h の溶接部	応力比	0.22	0.45
		パッド ^h とラグ ^h の溶接部		0.37	0.19
		ラグ ^h とプレート ^h の溶接部		0.32	0.14
弁	なし	スイング逆止弁 (蓄圧タンク出口第2逆止弁)	設計UF	0.051	0.051
			環境UF	0.512	0.512
重機器 ^h ート	なし	加圧器 ^h ート	設計UF	0.143	0.148
原子炉容器上部ふた付属設備	なし	ラッチハウジング	設計UF	0.001	0.001
			環境UF	0.001	0.001

川内 1 号炉審査会合では原子炉容器について説明を実施したが、2号炉では比較的大きなUF結果が得られている
1次冷却材ポンプについて説明する。

低サイクル疲労

3. 技術評価

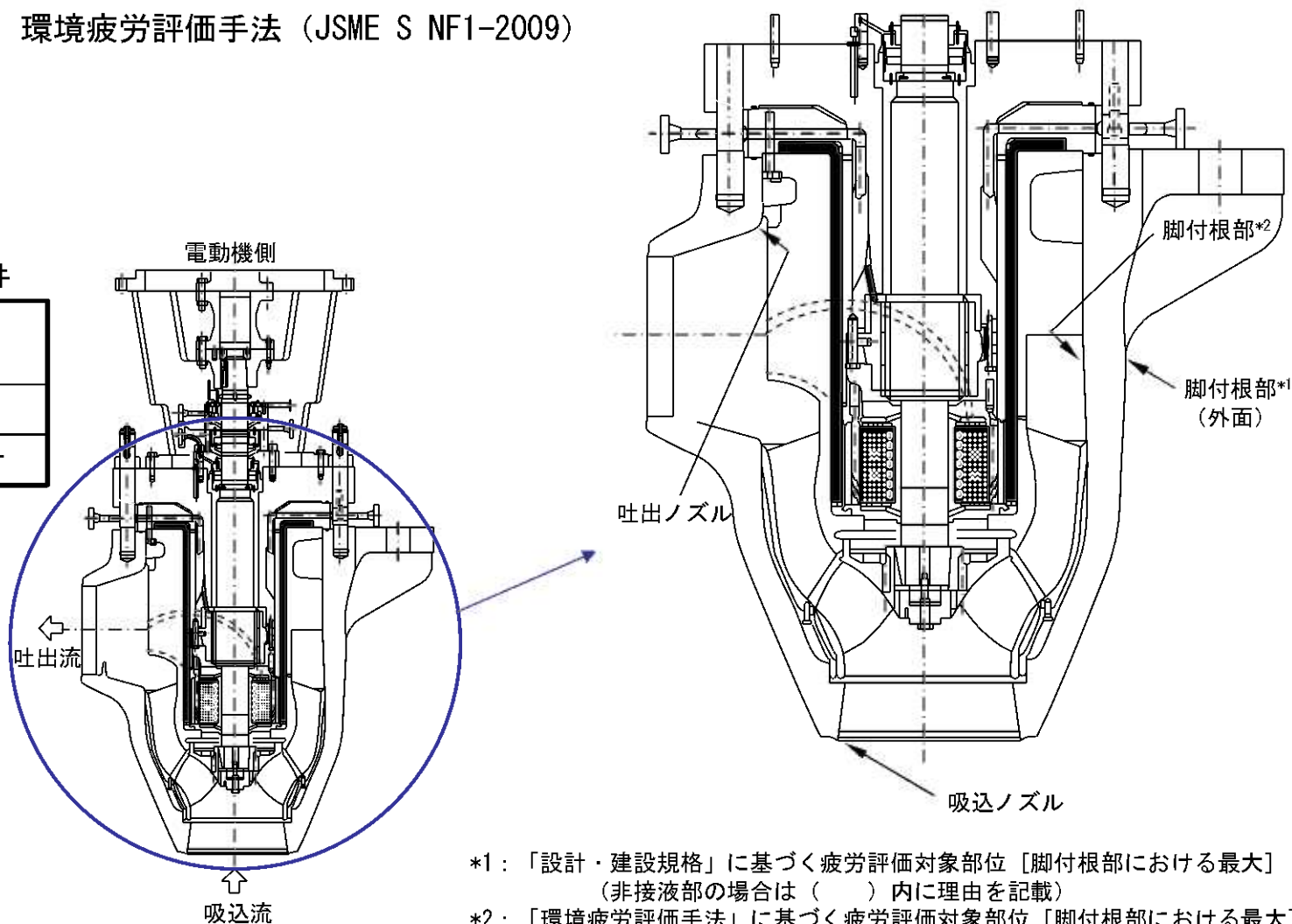
3.1 適用規格

- ・ (社) 日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)
- ・ (社) 日本機械学会 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2009)

3.2 評価対象部位

1次冷却材ポンプの使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gauge]
最高使用温度	約343°C
内部流体	1次冷却材



*1: 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位 [脚付根部における最大]
(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 [脚付根部における最大]
(接液部が対象)

低サイクル疲労

3.3 過渡条件の設定

○過渡回数策定方針

項目	内容
1 定格負荷運転時の変動	有意な変動は生じてないことから「-回」とする。
2 未経験過渡回数	電共研「応力解析手法の高度化」のデータを使用する。
3 5%/min負荷上昇、減少の平均回数	ステムフリー試験回数を考慮し、負荷上昇、減少の平均回数は13回/年とした。
4 起動・停止（温度上昇・下降率55.6°C/h）	温度変化率は、評価上最も厳しい設計過渡条件としており、十分な保守的な値を設定した。
5 燃料交換	計算上は0.8回であるが、1回/年とした。
6 タービン回転試験	プラント建設時の機能試験に係わる過渡のため、今後は発生しないものとした。
7 評価回数余裕	実績回数の比較的多い次の過渡項目については、保守的に若干の余裕を考慮した。 (起動、停止、負荷上昇（15%から100%出力）、負荷減少（100%から15%出力）、燃料交換、0%→15%への負荷上昇、15%→0%への負荷減少、1次系漏えい試験)

○60年供用仮定時の各過渡条件の繰り返し回数は、基本的に運転実績に基づく2013年3月末時点の過渡回数を用いて今後も同様な運転を続けたと仮定して推定する。過渡回数の計算方法を以下に示す。

●未取替機器

60年時点過渡回数＝実績過渡回数＋(運開後実績過渡回数/運開後実績過渡回数調査時点までの年数) × 残年数

【参考】

●取替機器

60年時点過渡回数＝取替後実績過渡回数＋(未取替機器の1年間当たり平均過渡回数) × 残年数

低サイクル疲労

○ 1次冷却材ポンプの疲労評価に用いた過渡回数

運転状態Ⅰ

過 渡 項 目	運転実績に基づく過渡回数	
	2013年3月 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
起動(温度上昇率55.6°C/h)	31	71
停止(温度下降率55.6°C/h)	30	71
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	276	736
負荷減少(負荷減少率5%/min)	268	727
90%から100%へのステップ状負荷上昇	1	2
100%から90%へのステップ状負荷減少	2	3
100%からの大きいステップ状負荷減少	1	3
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	20	59
0%から15%への負荷上昇	30	66
15%から0%への負荷減少	24	59
1ループ停止/1ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	1
Ⅱ) 起動	0	1

運転状態Ⅱ

過 渡 項 目	運転実績に基づく過渡回数	
	2013年3月 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	1
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	1	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	1
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	1
1次冷却系の異常な減圧	0	1
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	1
1次冷却系停止ループの誤起動	0	1
タービン回転試験	2	2
1次系漏えい試験	27	62

*1 設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$ の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない

低サイクル疲労

3.4 評価結果

「(社)日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」に基づき、大気中環境での疲労評価を行った結果、各評価点において疲労累積係数(UF)が許容値以下(UF<1)となることを確認した。

なお、下表の評価結果一覧には、評価結果として疲労累積係数が最大となった評価点の値を記載している。

さらに、接液環境にあるUFが最大となった評価点について「(社)日本機械学会 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2009)」に基づき、接液環境を考慮した疲労評価を行った結果、疲労累積係数が許容値以下(UF<1)となることを確認した。(1次冷却材ポンプの評価結果を以下に示す。)

1次冷却材ポンプの評価結果一覧

評価対象部位		健全性評価 (60年供用仮定時の疲労累積係数)	
		設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
1次冷却材ポンプ	脚付根部	0.082	0.479 ^{*1}
	吐出ノズル	0.051	0.527
	吸込ノズル	0.001	0.001

*1: 炉水環境にあり、かつ疲労評価上最も厳しい箇所について評価を実施しており、設計・建設規格に基づく疲労評価対象箇所と異なる

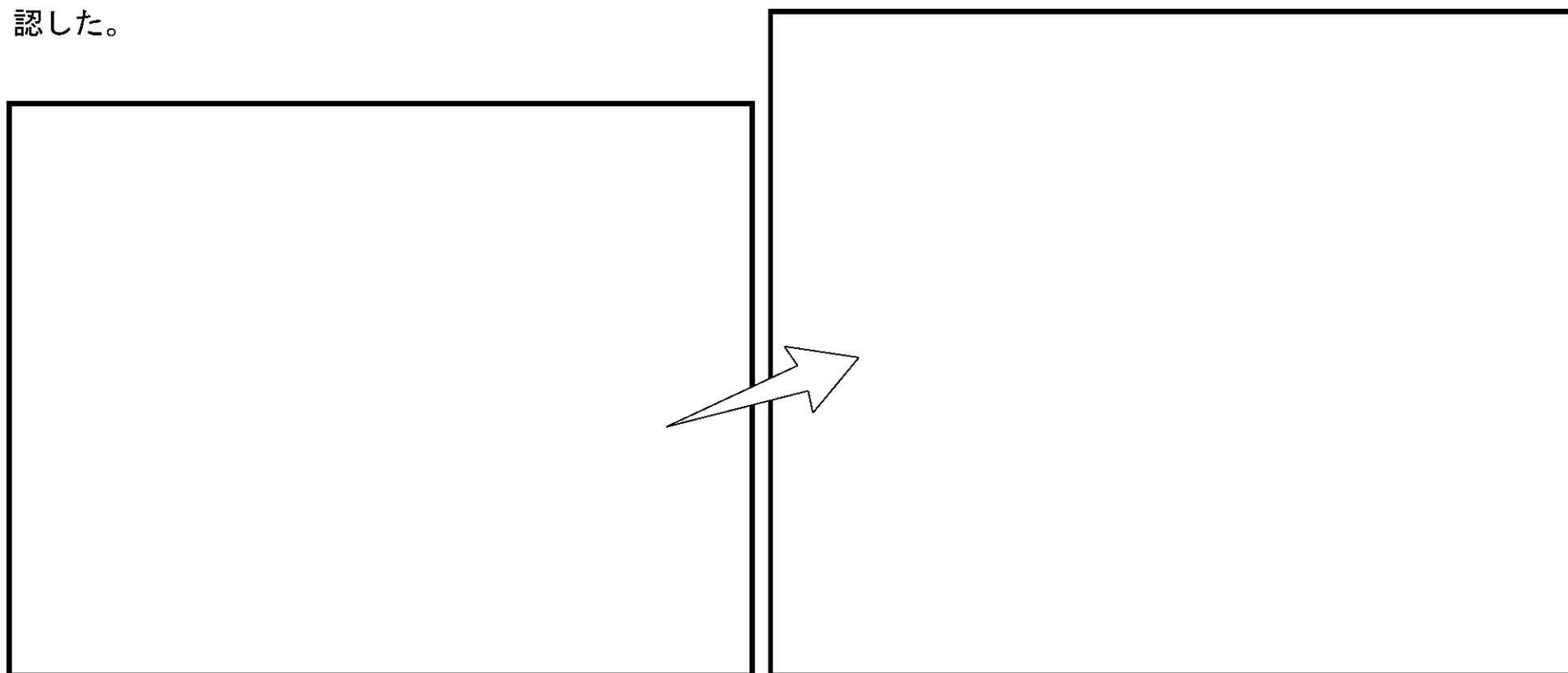
1次冷却材ポンプの評価部位のうち、UFが最大となった吐出ノズルの評価内容について、次項にて詳細に説明する。

低サイクル疲労

<吐出ノズルの評価結果>

「(社)日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」に基づき、大気中環境での疲労評価を行った結果、全ての評価点において疲労累積係数(UF)が許容値以下($UF < 1$)となることを確認した。なお、UFが最大となったのは評価点8526で、 $UF = 0.051$ であった。

さらに、大気中環境でのUFが最大であった評価点8526について「(社)日本機械学会 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2009)」に基づき、接液環境を考慮した疲労評価を行った結果、 $UF = 0.527$ となり、許容値以下であることを確認した。



1次冷却材ポンプケーシング 解析モデル

1次冷却材ポンプケーシング 評価点 (吐出ノズル)

内は商業機密に属しますので公開できません

低サイクル疲労

4. 現状保全

1次冷却材ポンプの疲労割れに対する保全としては、「日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格 (JSME S NA1-2008)」に従った検査プログラム、試験方法及び試験範囲で供用期間中検査として超音波探傷試験、目視検査 (VT-3) 及び漏えい試験 (VT-2) により健全性を確認している。

5. 総合評価

1次冷却材ポンプの疲労評価結果は、疲労累積係数(UF)が許容値以下($UF < 1$)であったことから、現時点の知見において疲労割れが発生する可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実過渡回数に依存するため、今後とも実過渡回数を把握し評価を継続する必要がある。

なお、冷温停止状態においては、温度・圧力が低く熱過渡の影響を受けないため、事象の進展が考え難いことから健全性に影響はないと考える。

6. 高経年化への対応

疲労割れについては、現状保全項目を継続して実施していく。なお、追加保全策として、高経年化対策の観点から、今後とも実過渡回数に基づく評価を定期的実施していく。

【補足資料】

1次冷却材ポンプにおける供用期間中検査の妥当性（検出性等）について（1/2）

○ 1次冷却材ポンプ供用期間中検査

1次冷却材ポンプ本体は、日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格（JSME S NA1-2008）」に従った検査プログラム、試験方法及び試験範囲で供用期間中検査（ISI）として超音波探傷検査（UT）、目視検査（VT-1、VT-3）及び漏えい試験（VT-2）により健全性を確認している。

なお、検査においては以下の規格・指針に基づいて実施しており、十分な検出性を有している。

- ・ 超音波探傷検査：JEAC4207「軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程」
- ・ 目視検査及び漏えい試験：日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格（JSME S NA1-2008）」

○ 1次冷却材ポンプ供用期間中検査範囲

- ・ 維持規格の検査範囲については、運転開始後に欠陥が発生する可能性が相対的に高いと考えられているボルト等の本体を接続する部位を対象としている。

【検査内容】 超音波探傷検査、目視検査及び漏えい試験

- ・ 1次冷却材ポンプ供用期間中検査の対象範囲については、上記の非破壊検査にて欠陥がないことを確認している。また、1次冷却材ポンプに想定される劣化事象とそれにより発生する欠陥※は1次冷却材ポンプ供用期間中検査における検査手法（UT、VT-1、VT-2、VT-3）で検出可能である。

（※「表1 1次冷却材ポンプ本体の供用期間中検査の内容」参照）

- ・ なお、1次冷却材ポンプの疲労評価における全ての疲労評価点については”RCS漏えい検査“で漏えいに至る欠陥がないことを確認している。

【補足資料】

1次冷却材ポンプにおける供用期間中検査の妥当性（検出性等）について（2/2）

表1 1次冷却材ポンプ本体の供用期間中検査の内容

評価対象	検査部位*	検査内容	範囲
ポンプケーシング	圧力保持範囲	漏えい検査 VT-2	圧力保持範囲（毎定検）
ポンプケーシングの内表面	ケーシング内表面	目視検査 VT-3	代表1台の100%
主フランジボルト	ボルト本体	超音波探傷検査	代表1台の25%（6本）
フランジ表面（ボルト穴廻り）	フランジ表面	目視検査 VT-1	代表1台の25%（6本）
ナット及びワッシャ	ナット、ワッシャ	目視検査 VT-1	代表1台の25%（6本）
シールハウジング用ボルト	ボルト本体	目視検査 VT-1	代表1台の100%（12本）
支持構造物（支持脚ベースプレート、基礎ボルト等）	支持構造物本体	目視検査 VT-3	代表1台の25%（1箇所）
1次冷却材ポンプ吸込ノズル	溶接部	超音波探傷検査	MCP全溶接線の25%*2

*1維持規格(JSME S NA-1 2008)による

*2配管のクラス1 供用期間中検査にて実績あり