

島根原子力発電所 2号炉 審査資料	
資料番号	PLM-05 改 09
提出年月日	平成 31 年 1 月 23 日

島根原子力発電所 2号炉 高経年化技術評価  
(低サイクル疲労)

補足説明資料

平成 31 年 1 月 23 日

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象と評価手法	3
(1) 評価対象	3
(2) 評価手法	5
4. 代表機器の技術評価	13
(1) 健全性評価	13
(2) 現状保全	13
(3) 総合評価	14
(4) 高経年化への対応	14
5. 代表機器以外の技術評価	15
(1) 健全性評価	15
(2) 現状保全	15
(3) 総合評価	17
(4) 高経年化への対応	17
6. まとめ	17
(1) 審査ガイド適合性	17
(2) 保守管理に関する方針として策定する事項	17

別紙 1. 建設時工認における原子炉圧力容器の疲労評価結果について

別紙 2. 建設時考慮されていない応力変動の抽出プロセスについて

別紙 3. 実績過渡回数と推定過渡回数の検証について

別紙 4. 環境疲労評価で考慮している溶存酸素濃度について

別紙 5. 代表機器の疲れ累積係数の算出根拠について

別紙 6. 代表機器以外の疲れ累積係数の算出根拠について

別紙 7. 評価手法を含めた疲労評価結果について

別紙 8. 未経験過渡の疲労評価結果への影響について

## 建設時考慮されていない応力変動の抽出プロセスについて

高経年化技術評価書で想定している経年劣化事象は、評価対象機器の構造（型式等）、使用環境（内部流体等）、材料等により、「高経年化対策実施基準 2008 版」附属書 A（規定）の「経年劣化メカニズムまとめ表」および最新知見として「高経年化対策実施基準 2015 版」附属書 A（規定）の「経年劣化メカニズムまとめ表」を参考にしている。

また、これまでの高経年化技術評価を参考にすると共に、スクリーニング未実施の島根原子力発電所 1 号炉の 40 年目の高経年化技術評価実施以降～2016 年 3 月の国内外の運転経験、最新知見について、これまで実施した先行プラントの技術評価書を参考にし、高経年化技術評価への影響を整理し、技術評価への反映要否を判断した。なお、スクリーニング対象期間以降の最新知見、運転経験については、審査の状況等も踏まえ、適宜反映することとしている。

## 1. 運転経験

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（以下、「NUCIA 情報」という。）において公開されている「トラブル情報」「保全品質情報」「その他情報」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, Generic Letter, Information Notice および Regulatory Issue Summary 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、新たに高経年化技術評価書に反映すべき運転経験を抽出する。

## 2. 最新知見

スクリーニング対象期間中に発行された原子力規制委員会文書および日本機械学会、日本電気協会、日本原子力学会の規格・基準類なら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、高経年化技術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。

## 3. 低サイクル疲労評価に反映すべき事象について

1. および 2. の調査結果より、建設時に考慮されていない応力変動で低サイクル疲労に加えるべきものは抽出されなかった。

ただし、高サイクル熱疲労の観点で抽出された事象があるため、4. に記載する。なお、本事象は高経年化技術評価書にて、既に評価を実施しているものである。

## 4. 建設時に考慮されていない高サイクル熱疲労について

運転経験により建設時考慮されていない高サイクル熱疲労現象は、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」（JSME S 017）（以下、「JSME 指針」という）により「高低温水合流型」、「キャビティフロー型熱成層」、「運転操作型熱成層」、「弁グランドリーク型熱成層」、「弁シートリーク型熱成層」があげられ、「運転操作型熱成層」、「弁グランドリーク型熱成層」、「弁シートリーク

型熱成層」については運転操作や弁の保守管理で対応可能とされていることから評価対象外とした。

島根2号炉において発生することが考えられる「高低温水合流型」および「キャビティフロー型熱成層」について、平成19年2月16日付け「高サイクル熱疲労に係る評価及び検査に対する要求事項について」（平成19・02・15 原院第2号）の指示により、JSME指針に基づき評価を行い、「高サイクル熱疲労による損傷の防止に関する評価結果について（平成21年4月）」（添付1）を経済産業省 原子力安全・保安院へ提出しており、以降に記載内容の概要を記す。

## 《報告内容の概要》

### (1) 対象施設

省令62号第6条および解釈第6条第3項により、以下のとおりである。

- ・一次冷却材系
- ・原子炉浄化系
- ・残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード）

### (2) 評価対象とする高サイクル熱疲労に係る現象

評価対象とする高サイクル熱疲労モードは、以下のとおりである。

- ・高低温水合流型
- ・キャビティフロー型熱成層

### (3) 高サイクル熱疲労割れの評価対象部位の抽出

#### a. 高低温水合流型

- ①原子炉圧力容器給水ノズル
- ②原子炉再循環系／残留熱除去系吐出合流部
- ③原子炉浄化系の給水系への戻り部
- ④残留熱除去系熱交換器出口配管とバイパス配管合流部

#### b. キャビティフロー型熱成層

- ①原子炉再循環系ドレンライン
- ②電動機駆動原子炉給水ポンプミニマムフローライン

### (4) 高サイクル熱疲労割れに関する評価結果

上記(3)で抽出した高サイクル疲労割れの評価対象部位についてJSME指針に基づき評価を行った。

#### a. 高低温水合流型

抽出された4箇所は、経済産業省原子力安全・保安院指示文書「泊発電所2号機再生熱交換器胴側出口配管の損傷を踏まえた検査の実施について－高サイクル熱疲労割れに係る検査の実施について－」（平成15年12月12日付け平成15・12・11 原院第1号）に従って評価を実施し、問題ないことを確認している。

b. キャビティフロー型熱成層

(a) 原子炉再循環系ドレンライン (A系, B系)

評価の結果, 原子炉再循環系ドレンラインについて, 雰囲気温度と系統運転温度との温度差は, JSME 指針の判定温度差を超えており, また分岐管鉛直部長さは, 分岐管鉛直部長さへの侵入判定長さおよび分岐管水平部への侵入判定長さを満足しない結果となった。この対応として, 第15回定期検査期間中に分岐管鉛直部長さが分岐管への侵入判定長さを満足するように配管のルート変更を行ったため, 問題ない。

(b) 電動機駆動原子炉給水ポンプミニマムフローライン (A系, B系)

評価の結果, 給水ポンプミニマムフローラインについて, 雰囲気温度と系統運転温度との温度差は, JSME 指針の判定温度差を超えているが, 分岐管鉛直部長さは, 分岐管鉛直部への侵入判定長さを満足しているため問題ない。

(5) 高サイクル熱疲労割れが発生する可能性の高い部位の特定の結果

上記(4)の評価結果より, 検査が必要とされる高サイクル熱疲労割れが発生する可能性が高い部位はない。

《報告内容の補足説明》

添付2: 高サイクル熱疲労の対策として実施した原子炉再循環系ドレンライン配管ルート変更に伴う温度分布測定結果について

添付3: 高サイクル熱疲労評価における残留熱除去系熱交換器出口配管とバイパス配管合流部の評価における温度設定根拠について

島根原子力発電所 2 号機

高サイクル熱疲労による損傷の防止に関する  
評価結果について

平成 2 1 年 4 月

中国電力株式会社

## 1. 目的

平成19年2月16日付け「高サイクル熱疲労に係る評価及び検査に対する要求事項について」（平成19・02・15原院第2号）の指示に基づき、島根原子力発電所2号機における高サイクル熱疲労による損傷防止に関する評価結果について報告する。

## 2. 高サイクル熱疲労割れに関する評価の実施

高サイクル熱疲労割れが発生する可能性が高い部位について、発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令（以下、「省令62号」という。）第6条および解釈第6条第2項および第3項に基づき評価を行い、部位を以下のとおり特定した。

### (1) 対象施設

対象施設として、省令62号第6条および解釈第6条第3項により、以下のとおりである。

- ・一次冷却材系
- ・原子炉浄化系
- ・残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード）

### (2) 高サイクル熱疲労に係る現象

高サイクル熱疲労モードは、以下のとおりである。

- ・高低温水合流型
- ・キャビティフロー型熱成層
- ・運転操作型熱成層
- ・弁グランドリーク型熱成層
- ・弁シートリーク型熱成層

### (3) 高サイクル熱疲労割れの評価対象部位の抽出

高サイクル熱疲労のうち、高低温水合流型およびキャビティフロー型熱成層について、評価対象部位を抽出した。

なお、運転操作型熱成層、弁グランドリーク型熱成層および弁シートリーク型熱成層については、運転管理や弁等の保守管理で対応可能であることから評価対象外<sup>(注1)</sup>とした。

注1：日本機械学会「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」（J S M E S 0 1 7）の評価対象外

## a. 高低温水合流型

高低温水合流型は、高温水と低温水が混合する部位において、温度変動による熱応力の変動が繰り返され熱疲労が生じる現象であり、以下のとおり評価対象部位を抽出した。

- ① 原子炉压力容器給水ノズル
- ② 原子炉再循環系／残留熱除去系吐出合流部
- ③ 原子炉浄化系の給水系への戻り部
- ④ 残留熱除去系熱交換器出口配管とバイパス配管合流部

## b. キャビティフロー型熱成層

キャビティフロー型熱成層は、高温流体に接続されている閉塞配管に高温水が流入すること（キャビティフロー）により閉塞配管に熱成層が発生し、熱成層境界面の変動で温度変動が繰り返され熱疲労が生じる現象であり、以下の通り評価対象部位を抽出<sup>(注2)</sup>した。

- ① 原子炉再循環系ドレンライン
- ② 電動機駆動原子炉給水ポンプミニマムフローライン

(添付資料 1)

注 2：J S M E S O 1 7 においては、

- ・ 高温流体を内包する配管側から見て、下向きから水平に移行する部位を対象とし滞留配管の水平管が、当該配管以上の高さにあり、かつ、その位置で閉塞している場合には自然対流により熱成層は生じないため対象外としている。
- ・ 分岐管口径は、50A～300Aを対象とする。
- ・ 主管と分岐管の口径比（分岐管内径／主管内径）は、0.5以下までを対象とする。
- ・ 高温流体が適用範囲以下の低流速の場合は、熱成層現象は生じるが、渦侵入のドライビングフォースとなる慣性力が小さく、分岐部上部でセル状渦の形成区間が短くなり、渦侵入深さは極めて小さくなるため適用範囲外としている。

## (4) 高サイクル熱疲労割れに係る構造健全性評価

(3) で抽出した高サイクル熱疲労割れの評価対象部位について、日本機械学会「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」(J S M E S O 1 7) に基づき評価を行った。

## a. 高低温水合流型

抽出された4箇所は、経済産業省原子力安全・保安院指示文書「泊発電所2号機再生熱交換器胴側出口配管の損傷を踏まえた検査の実施について－高サイクル熱疲労割れに係る検査の実施について－」（平成15年12月12日付け平成15・12・11原院第1号【NISA-163b-03-1】）に従って評価を実施し、問題ないことを確認している。

(別添1)

## b. キャビティフロー型熱成層

## (a) 原子炉再循環系ドレンライン (A系, B系)

評価の結果、原子炉再循環系ドレンラインについて、雰囲気温度と系統運転温度との温度差は、指針の判定温度差を超えており、また分岐管鉛直部長さは、分岐管鉛直部への侵入判定長さおよび分岐管水平部への侵入判定長さを満足しない結果となった。この対応として、第15回定期検査期間中に分岐管鉛直部長さが分岐管への侵入判定長さを満足するように配管のルート変更を行ったため、問題ない。

(添付資料2, 3, 4)

## (b) 電動機駆動原子炉給水ポンプミニマムフローライン (A系, B系)

評価の結果、給水ポンプミニマムフローラインについて、雰囲気温度と系統運転温度との温度差は、指針の判定温度差を超えているが、分岐管鉛直部長さは、分岐管鉛直部への侵入判定長さを満足しているため問題ない。

(添付資料2, 3)

## (5) 高サイクル熱疲労割れが発生する可能性の高い部位の特定の結果

以上の評価結果より、検査が必要とされる高サイクル熱疲労割れが発生する可能性が高い部位はない。

## 3. 添付資料

添付資料1：島根原子力発電所2号機 キャビティフロー型熱成層による高サイクル熱疲労評価対象部位

添付資料2：閉塞分岐管滞留部に発生する熱成層現象評価フロー

添付資料3：島根原子力発電所2号機 キャビティフロー型熱成層型高サイクル熱疲労評価結果

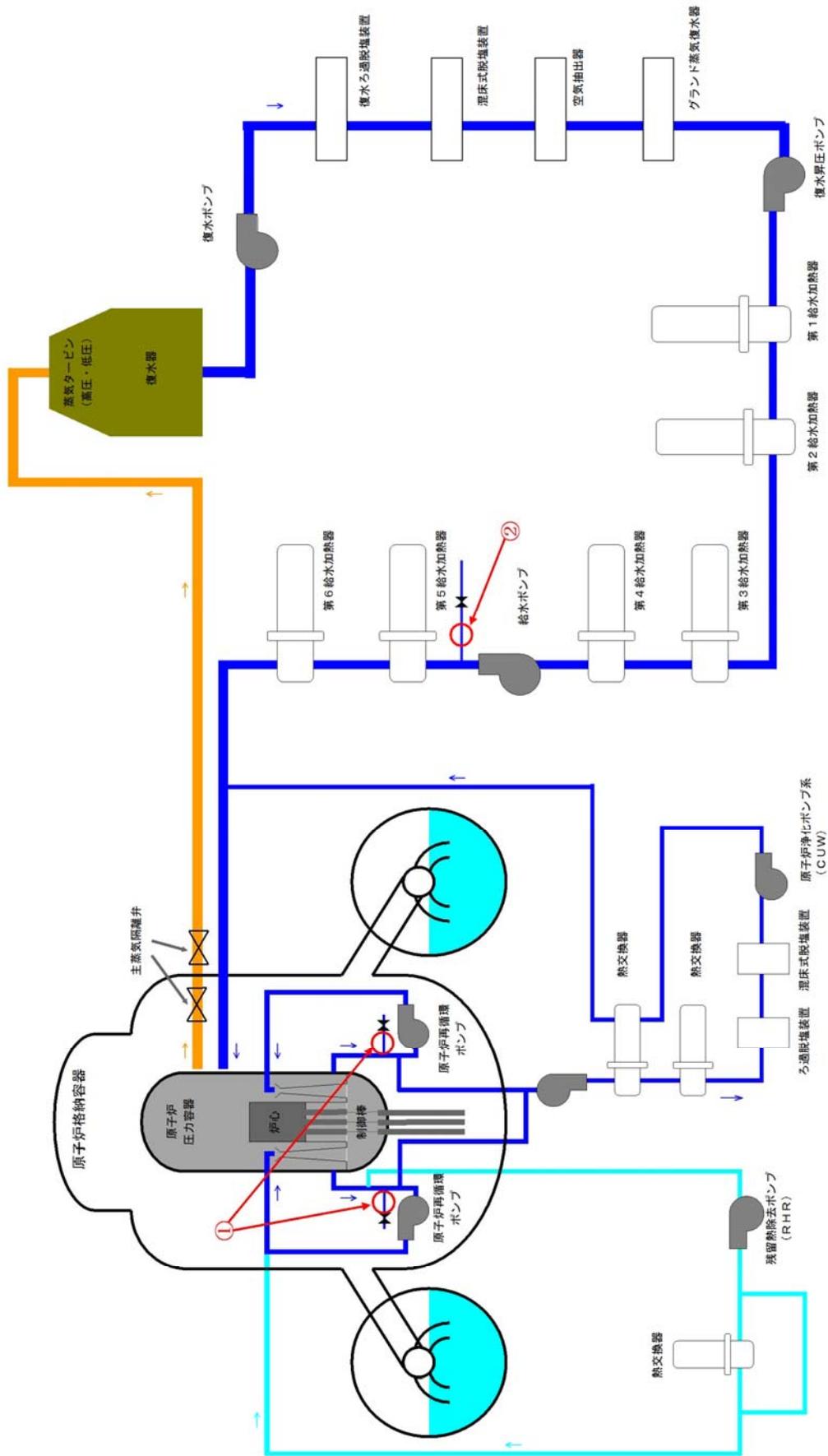
添付資料4：原子炉再循環系ドレンライン配管ルート変更概要図(A系, B系)

別添1：報告書「島根原子力発電所2号機 高サイクル熱疲労割れに係る評価結果について」（平成17年3月）

以 上

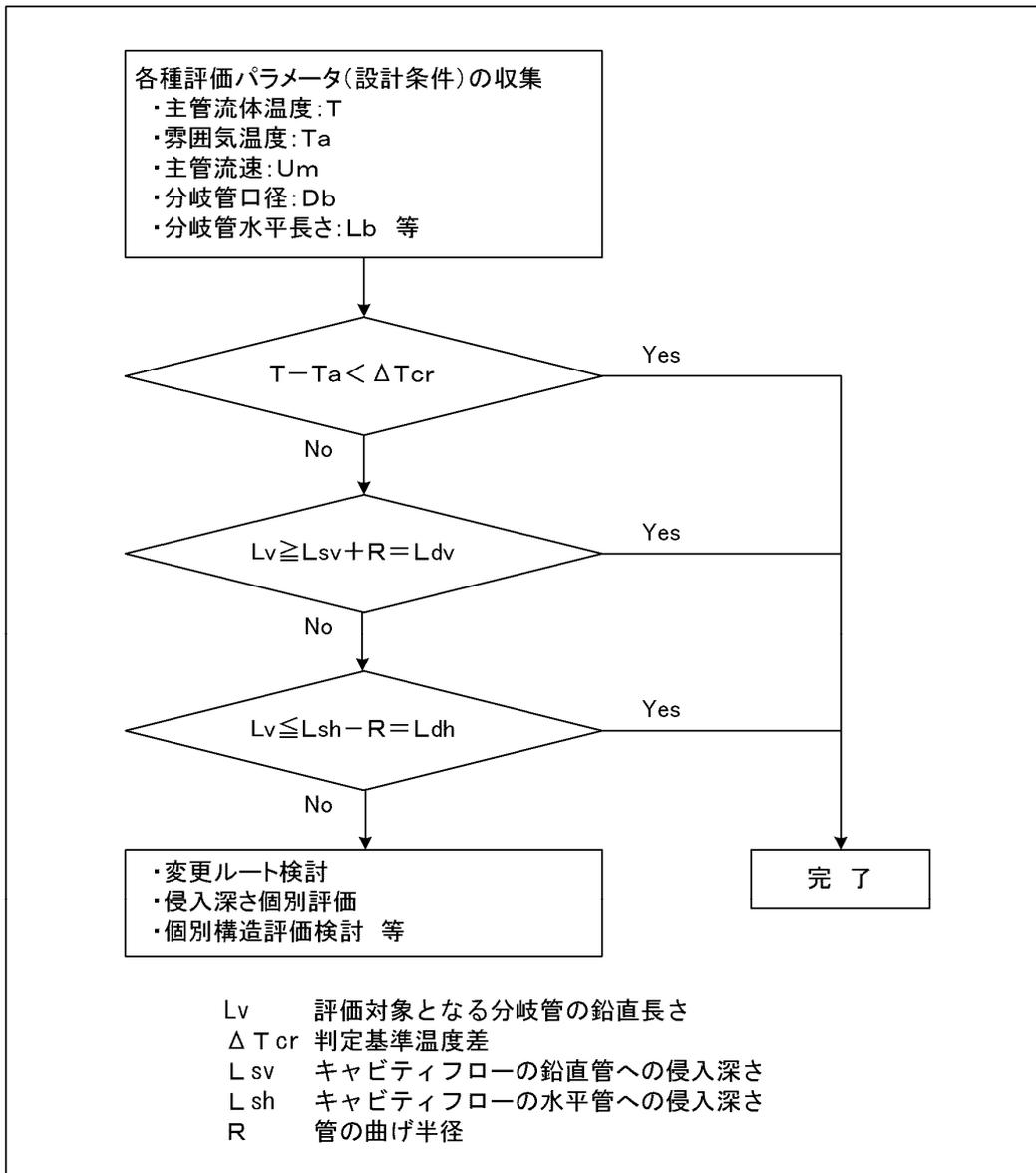
添付資料 1

島根原子力発電所 2号機 キャビティフロワー型熱成層による高サイクル熱疲労評価対象部位

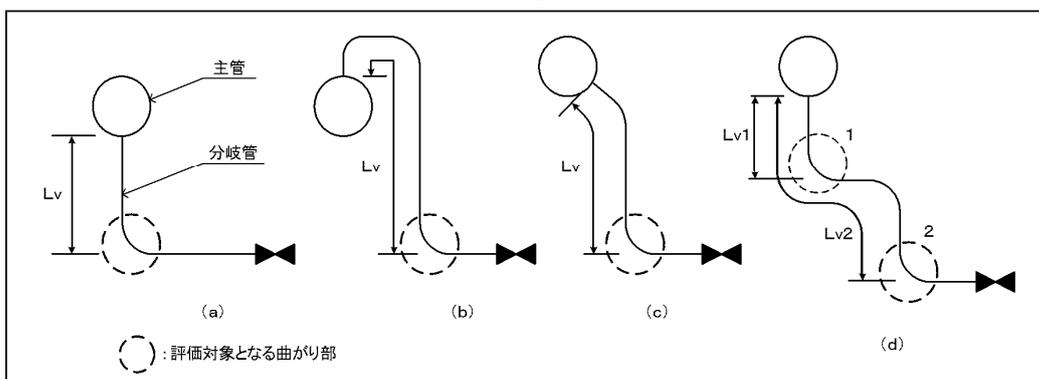


- ①：原子炉再循環系ドレンライン
- ②：電動機駆動原子炉給水ポンプミニマムフローライン

閉塞分岐管滞留部に発生する熱成層現象評価フロー  
( J S M E S O 1 7 )



$L_v$  の定義例



1. 原子炉再循環系ドレンライン

系統	主管		分岐管			ステップ1評価			ステップ2評価			ステップ3評価		
	流速	温度	外径	内径	分岐タイプ	雰囲気温度	温度差	判定値	判定	分岐管鉛直長さ	鉛直部判定長さ	判定	水平部判定長さ	判定
	(m/s)	(°C)	(mm)	(mm)	(d) [(a)]	(°C)	T-Ta (°C)	$\Delta T_{cr}$ (°C)	$T-Ta < \Delta T_{cr}$	Lv/Db	Ldv/Db	$L_v \geq L_{dv}$	Ldh/Db	$L_v \leq L_{dh}$
(A-1)	12.62	278.6	60.5	49.5	(d) [(a)]	42	236.6	36.2	×	7.65 [12.96]	27.91 [27.58]	×	13.65 [9.66]	○ [×]
(A-2)	12.62	278.6	60.5	49.5	(d)	42	236.6	36.2	×	31.02	27.91	○	—	—
(B-1)	12.62	278.6	60.5	49.5	(d) [(a)]	42	236.6	36.2	×	7.65 [12.91]	27.91 [27.58]	×	11.73 [9.66]	○ [×]
(B-2)	12.62	278.6	60.5	49.5	(d)	42	236.6	36.2	×	55.93	27.91	○	—	—

2. 電動機駆動原子炉給水ポンプミニマムフローライン

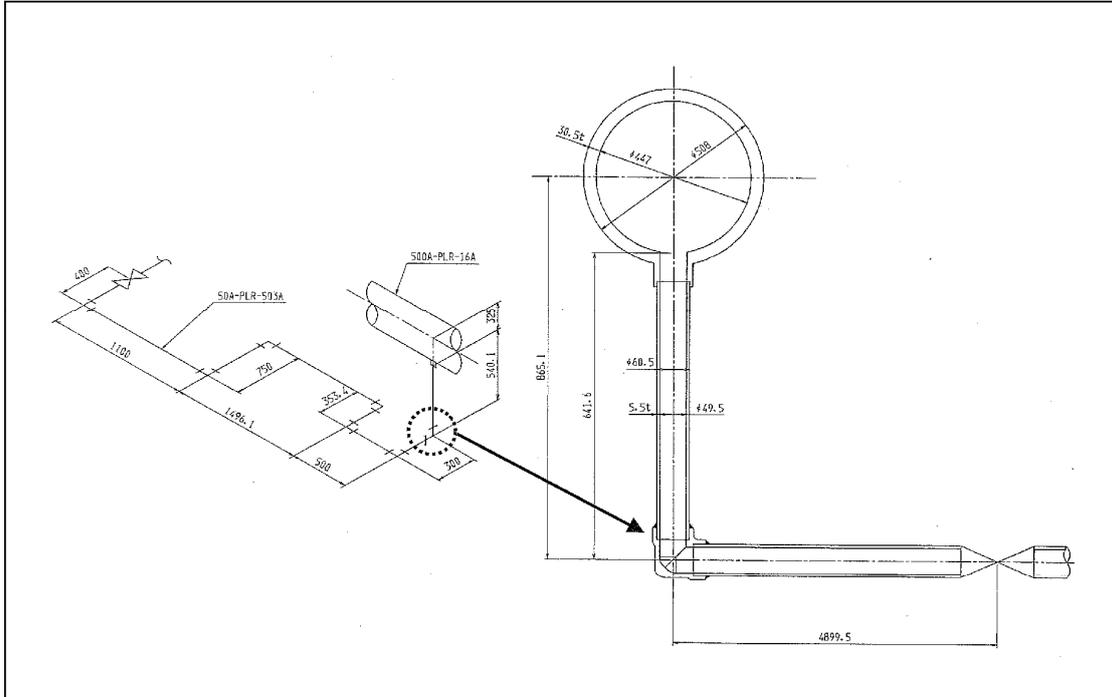
系統	主管		分岐管			ステップ1評価			ステップ2評価				ステップ3評価	
	流速	温度	外径	内径	分岐タイプ	雰囲気温度	温度差	判定値	判定	分岐管鉛直長さ	鉛直部判定長さ	判定	水平部判定長さ	判定
	(m/s)	(°C)	(mm)	(mm)	(d) [(a)]	(°C)	T-Ta (°C)	$\Delta T_{cr}$ (°C)	$T-Ta < \Delta T_{cr}$	Lv1/Db	Ldv1/Db	$L_v \geq L_{dv}$	Ldh/Db	$L_v \leq L_{dh}$
(A)	5.40	160.9	165.2	128.8	(d)	10	150.9	44.4	×	250.42	30.93	○	28.85	—
(B)	5.40	160.9	165.2	128.8	(d)	10	150.9	44.4	×	248.07	30.93	○	28.85	—

※1：主管温度は系統の設計温度

※2：雰囲気温度は空調換気系の設計最低温度

[ ]：配管ルート変更前の評価結果

【変更前】



【変更後】

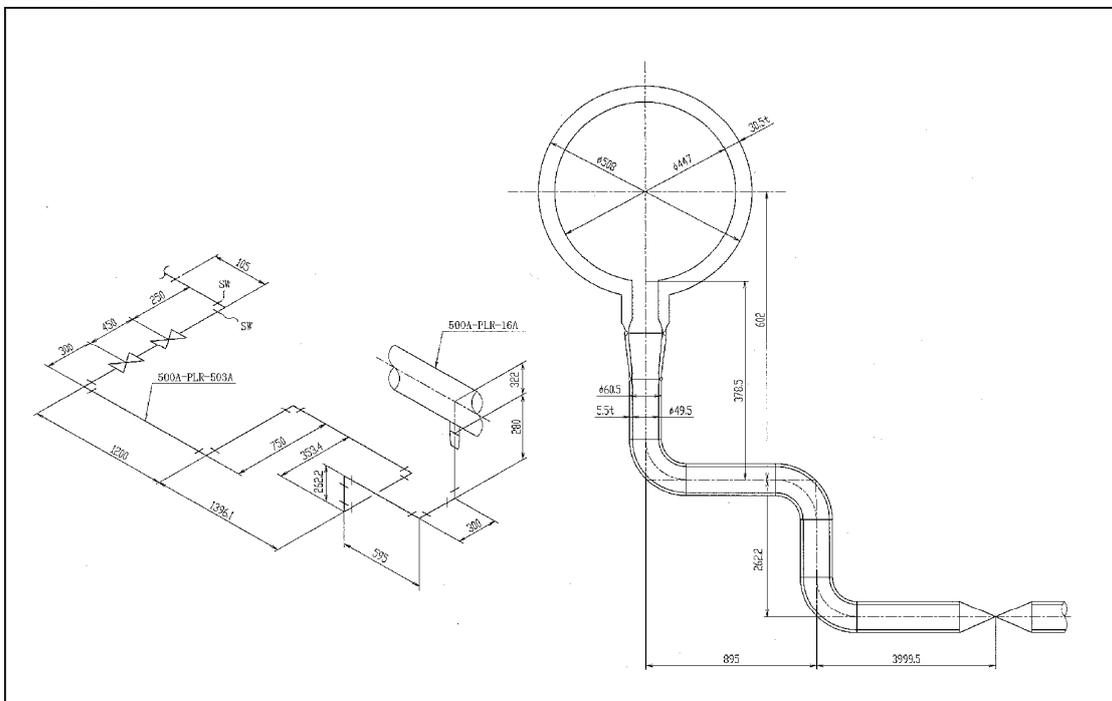
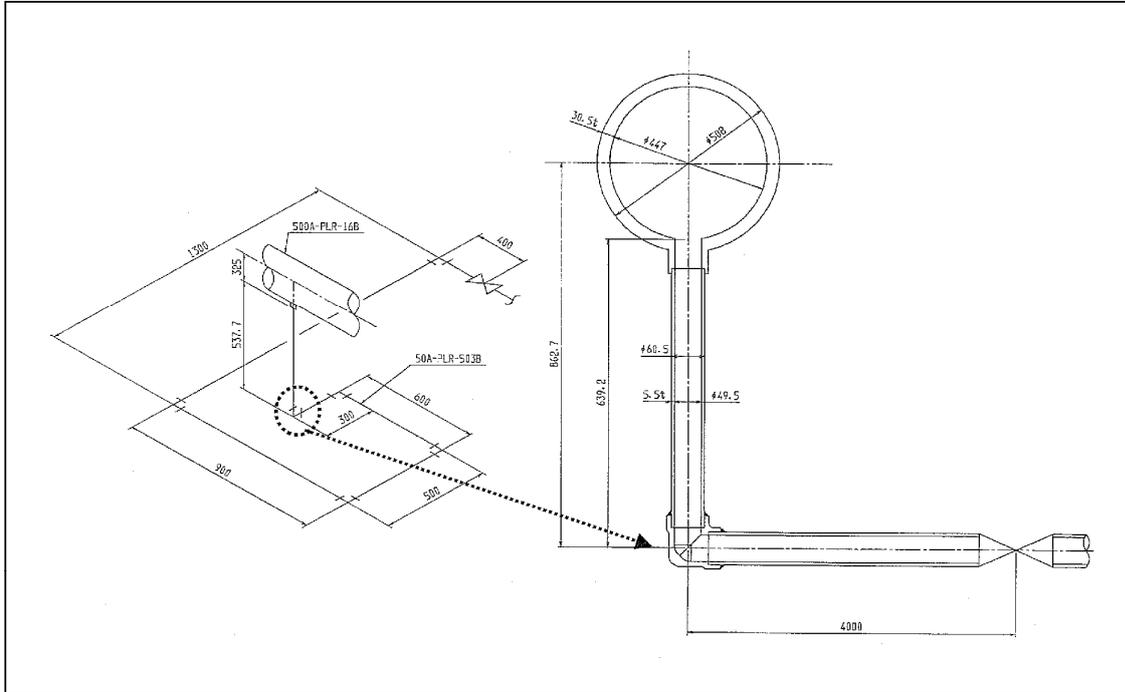


図 1. 原子炉再循環系ドレンライン配管ルート変更概要図 (A系)

【変更前】



【変更後】

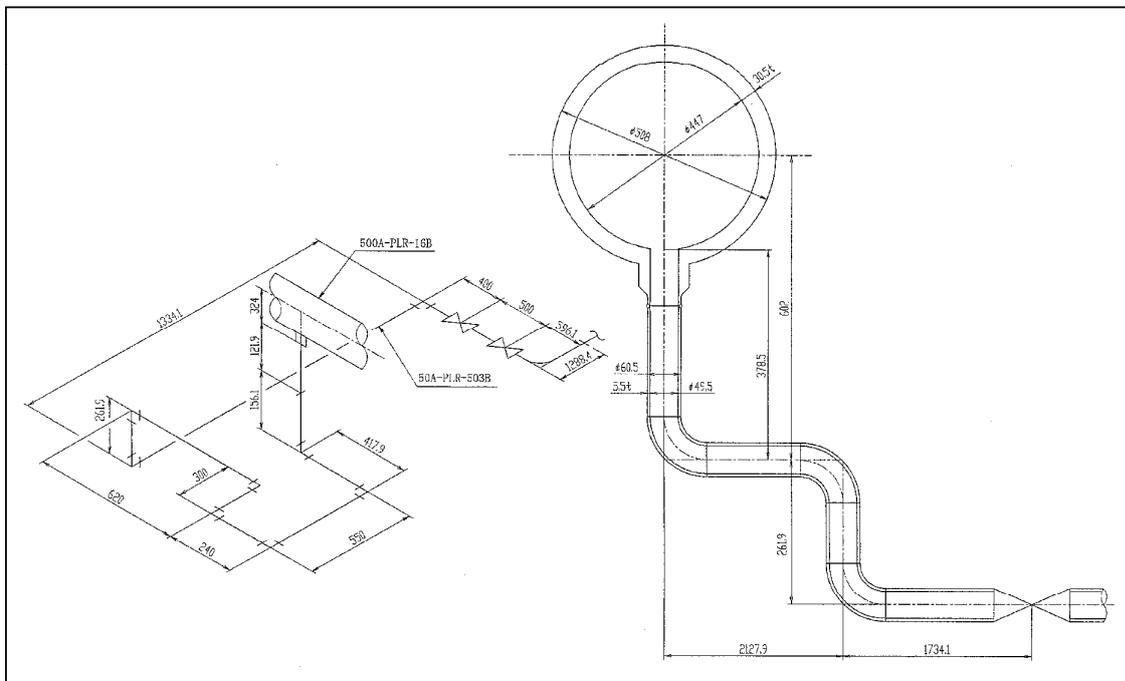


図 2. 原子炉再循環系ドレンライン配管ルート変更概要図 (B系)

島根原子力発電所 2 号機  
高サイクル熱疲労割れに係る評価結果について

平成 1 7 年 3 月

中国電力株式会社

## 1. はじめに

本書は経済産業省原子力安全・保安院指示文書「泊発電所 2 号機再生熱交換器胴側出口配管の損傷を踏まえた検査の実施について－高サイクル熱疲労割れに係る検査の実施について－」（平成 15 年 12 月 12 日付け平成 15・12・11 原院第 1 号【NISA-163b-03-1】）（以下「指示文書」という。）に従って、島根原子力発電所 2 号機における検査対象箇所を抽出し、高サイクル熱疲労評価をまとめたものである。

## 2. 評価対象

「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」（平成 2 年 8 月 30 日原子力安全委員会決定）の重要度分類クラス 1 及び 2 に属する系統又は機器を抽出範囲とする。

## 3. 評価結果

通常運転時に高低温の内部流体が合流する部位について抽出した結果を添付資料 1 に示す。本評価にて抽出された部位のうち、温度ゆらぎが生じ、かつ応力集中が生じることにより、熱疲労割れが発生する可能性のある部位について、以下の方法により評価を実施した。

### (1) 日本機械学会基準に準拠する方法

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」（JSME S 017-2003）の高低温水合流部の温度揺らぎによる高サイクル熱疲労評価（別紙 1）に準拠し実施した。

### (2) 電力共研等による個別評価を準用する方法

日本機械学会基準を適用しない高低温水の内部流体が合流する部位については、電力共研等にて個別評価した結果を準用した。

上記の評価の結果、温度ゆらぎが生じ、かつ応力集中が生じることにより、熱疲労割れが発生する可能性のある部位はなかった。

上記（1）の方法で実施した評価結果を添付資料 2 に示す。

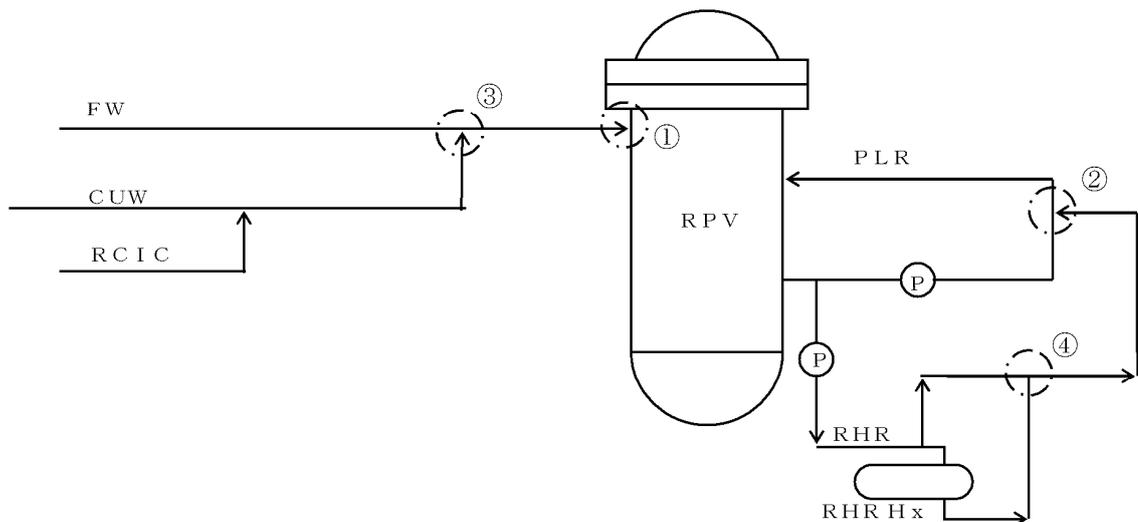
## 4. 添付資料

- (1) 島根原子力発電所 2 号機 高低温水が合流する箇所（添付資料 1）
- (2) 島根原子力発電所 2 号機 高サイクル熱疲労評価結果（添付資料 2）
- (3) 高低温水合流部での温度揺らぎに対する配管の構造健全性評価フロー（別紙 1）

## 島根原子力発電所 2 号機 高低温水が合流する箇所

No.	合流箇所	評価結果
①	原子炉圧力容器給水ノズル	サーマルスリーブが設置されており、電力共同研究「給水ラインサーマルスリーブに関する研究」等において高サイクル熱疲労に対する安全性が確認されている。
②	原子炉再循環系／残留熱除去系吐出合流部	高サイクル熱疲労評価（別紙 1）に準拠し、保守的な温度条件で評価を実施した結果、高温側および低温側の温度差が判定温度差を下回っていることを確認した。
③	原子炉浄化系の給水系への戻り部	リコンビネーションティが設置されており、電力共同研究「高温・低温流体合流部の構造選定に関する研究」等において高サイクル熱疲労に対する安全性が確認されている。
④	残留熱除去系熱交換器出口配管とバイパス配管合流部	高サイクル熱疲労評価（別紙 1）に準拠し、保守的な温度条件で評価を実施した結果、熱応力振幅が疲労限を下回っていることを確認した。

## 島根 2 号機系統概略図



島根原子力発電所2号機 高サイクル熱疲労評価結果

原子炉再循環系/残留熱除去系吐出合流部

号機	ステップ1評価				ステップ2評価			ステップ3評価			ステップ4評価			
	高温側 T1 (°C)	低温側 T2 (°C)	温度差 $\Delta T_{in}$ (°C)	判定値 $\Delta T_{cr}$ (°C)	判定 $\Delta T_{in} < \Delta T_{cr}$	最大減衰 係数 $\beta_{max}$	温度揺 らぎ幅 $\Delta T_f'$ (°C)	判定 $\Delta T_f' < \Delta T_{cr}$	熱応力 振幅 $\sigma_{alt}$ (MPa)	疲労限 $\sigma_{cr}$ (MPa)	判定 $\sigma_{alt} < \sigma_{cr}$	評価用 運転時間 (hr)	疲れ累 積係数 Uf	判定 Uf < 1
	2号機	182*1	160*3	22	38.3	○	—	—	—	—	—	—	—	—

残留熱除去系熱交換器出口配管とバイパス配管合流部

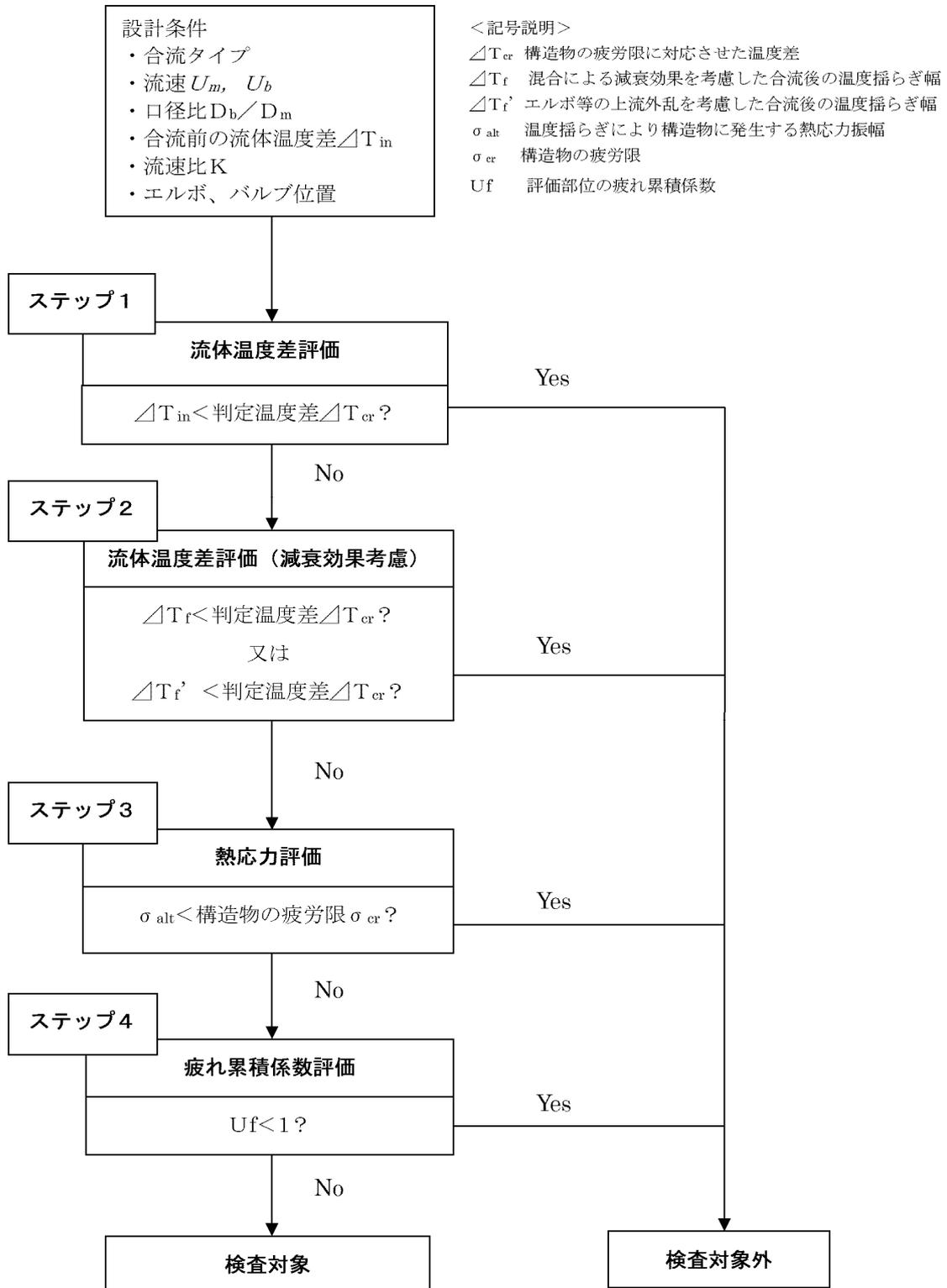
号機	ステップ1評価				ステップ2評価			ステップ3評価			ステップ4評価			
	高温側 T1 (°C)	低温側 T2 (°C)	温度差 $\Delta T_{in}$ (°C)	判定値 $\Delta T_{cr}$ (°C)	判定 $\Delta T_{in} < \Delta T_{cr}$	最大減衰 係数 $\beta_{max}$	温度揺 らぎ幅 $\Delta T_f'$ (°C)	判定 $\Delta T_f' < \Delta T_{cr}$	熱応力 振幅 $\sigma_{alt}$ (MPa)	疲労限 $\sigma_{cr}$ (MPa)	判定 $\sigma_{alt} < \sigma_{cr}$	評価用 運転時間 (hr)	疲れ累 積係数 Uf	判定 Uf < 1
	2号機 (A)	182*1	126*2	56	39.1	×	0.947	53	×	69.6	86.2	○	—	—
2号機 (B)	原子炉停止時の停止時冷却系の運転は、A系を使用し、B系は使用しない運用としていることから、評価対象外													

※1：残留熱除去系停止時冷却モード運転開始可能圧力（原子炉圧力 0.93MPa）時の飽和温度。なお、原子炉圧力が 0.88MPa（飽和温度 180°C）以下で停止時冷却モードの運転を行うこととしている。

※2：残留熱除去系熱交換器入口温度（※1）、残留熱除去系熱交換器熱除熱量および残留熱除去系熱交換器通水流量から算出。

※3：残留熱除去系熱交換器入口温度（※1）、残留熱除去系熱交換器出口温度（※2）、残留熱除去系熱交換器通水流量およびバイパス流量から算出。

高低温水合流部での温度揺らぎに対する配管の構造健全性評価フロー



タイトル	高サイクル熱疲労の対策として実施した原子炉再循環系ドレンライン配管ルート変更に伴う温度分布測定結果について
説明	<p>原子炉再循環系ドレンラインのキャビティフロー型熱成層評価の結果、雰囲気温度と系統運転温度との温度差は、指針（社団法人 日本機械学会 配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針 JSME S 017）の判定温度差を超えており、また分岐管鉛直部長さは、分岐管鉛直部への侵入判定長さおよび分岐管水平部への侵入判定長さを満足しない結果となった。この対応として、第 15 回定期検査(2008 年度)期間中に分岐管鉛直部長さが分岐管への侵入判定長さを満足するように配管のルート変更を行っている。</p> <p>1. 配管ルート変更前の温度分布測定</p> <p>原子炉再循環系ドレンラインの温度変動を参考に確認するため、第 15 回定期検査前の通常運転時に温度測定を実施した。温度測定位置および温度分布を図 1～4 に示す。</p> <p>2. 配管ルート変更後の温度分布測定</p> <p>上記のように、分岐管鉛直部長さが分岐管への侵入判定長さを満足するように配管のルート変更を行ったことから、配管ルート変更後の温度測定は実施していない。</p>

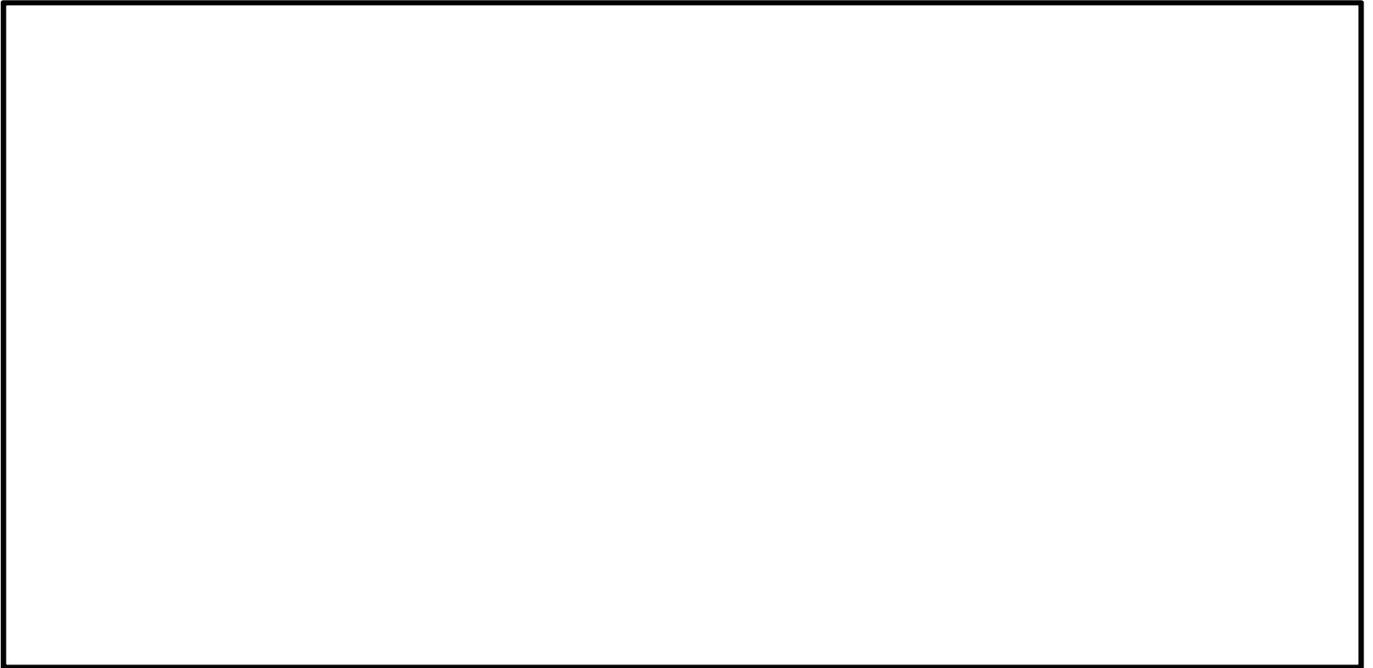


図 1 温度測定位置 (A 系)

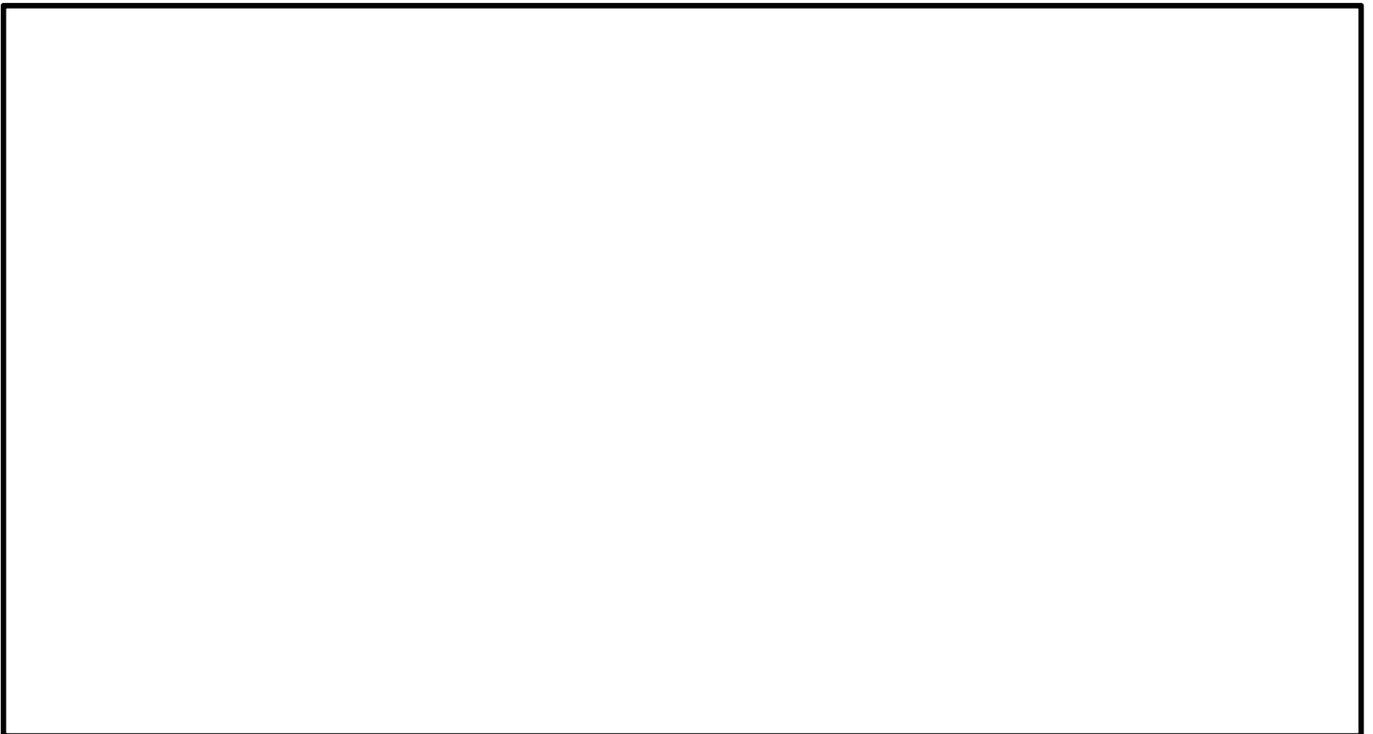


図 2 温度分布 (A 系)

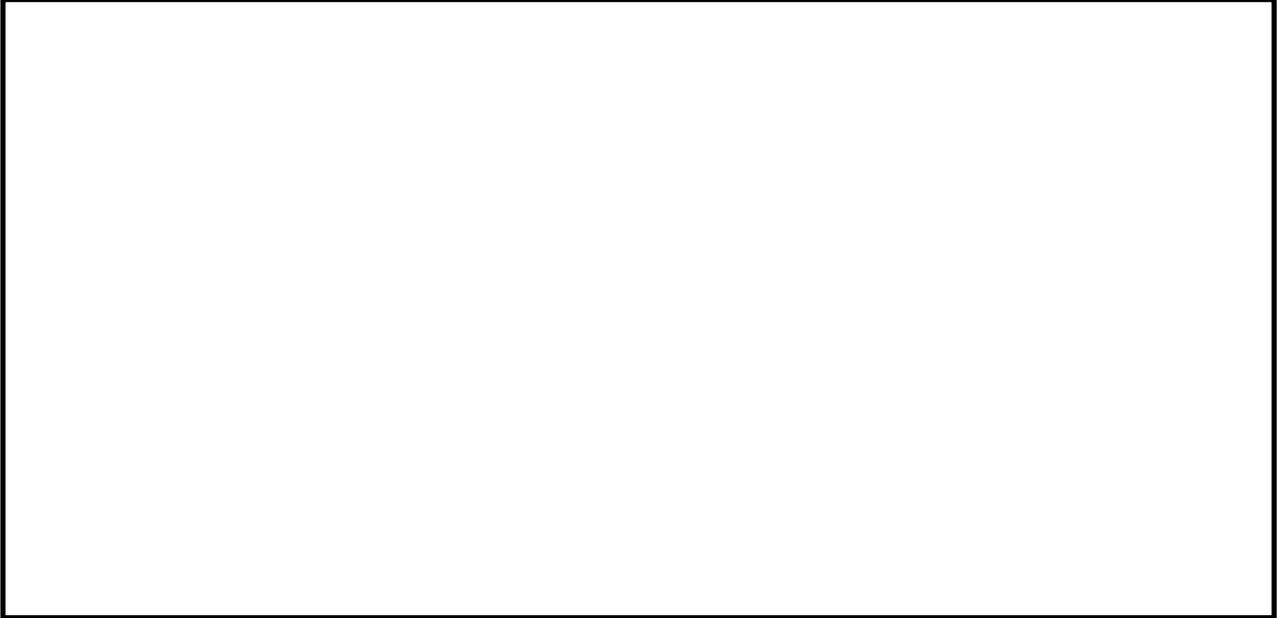


図 3 温度測定位置 (B 系)

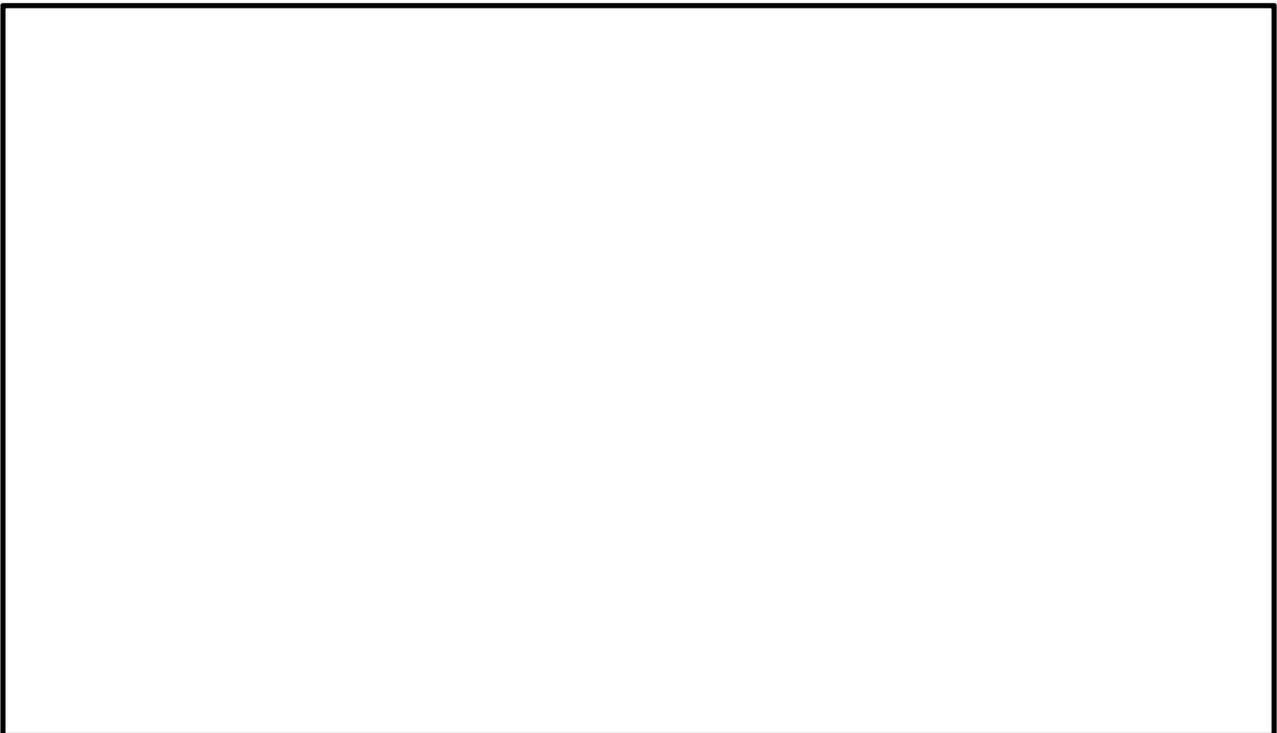


図 4 温度分布 (B 系)

タイトル

高サイクル熱疲労評価における残留熱除去系熱交換器出口配管とバイパス配管合流部の評価における温度設定根拠について

## 1. 高サイクル熱疲労評価に用いた条件と評価結果の概要

島根 2 号炉の残留熱除去系熱交換器（以下「熱交換器」という）出口配管とバイパス配管合流部における高サイクル熱疲労評価で用いた残留熱除去系への入口温度は、表 1 に示すように、停止時の最も高温の状態として、停止時冷却モードによる運転開始時の設計最高温度の原子炉温度を想定し、原子炉停止 4 時間後の燃料崩壊熱と原子炉潜熱を原子炉冷却材温度変化率の最大値で冷却することを想定して求めた。

表 1 評価条件とその根拠

	評価条件	根 拠
停止時冷却モードによる運転開始時の原子炉温度	182℃	停止時冷却モードが運転開始可能となる原子炉圧力での飽和温度
原子炉冷却材温度変化率	55℃/h	保安規定で定める原子炉冷却材温度変化率：55℃/h 以下

評価の結果、当該合流部の高温側（バイパス配管）が 182℃、低温側（熱交換器出口配管）が 126℃となった。

島根 2 号炉で評価に用いた数値とその根拠を表 2 に示す。

説 明

表 2 評価に用いた数値とその根拠

項目		数 値	根 拠
T1	残留熱除去系 入口温度 (原子炉温度)	182℃	停止時冷却モードが運転開始可能となる 原子炉圧力(原子炉圧力 0.93MPa)におけ る飽和温度
Ⓐ	崩壊熱量	24.6×10 <sup>6</sup> kcal/h	原子炉停止 4 時間後の崩壊熱量
Ⓑ	原子炉を 55℃ /h で冷却する 時の除熱量	28.2×10 <sup>6</sup> kcal/h	原子炉冷却材温度変化率 55℃/h 以下
Ⓒ	熱交換器によ る必要除熱量	52.8×10 <sup>6</sup> kcal/h	Ⓐ+Ⓑ
Ⓓ	熱交換器 1 基当 たりの除熱量	26.4×10 <sup>6</sup> kcal/h	Ⓒ÷2
F1	残留熱除去系 系統流量	1,200×10 <sup>3</sup> kg/h	設計仕様
T2	熱交換器 入口温度	182℃	T1 と同じ
T3	熱交換器 出口温度	<u>126℃</u>	除熱量Ⓓに対応した流量・温度バランス計算 により算出
F2 F3	熱交換器 通水量	<input type="text"/> kg/h	<input type="text"/>
T4	熱交換器 バypass温度	<u>182℃</u>	T1 と同じ
F4	熱交換器 バypass量	<input type="text"/> kg/h	F1-F2
T5	熱交換器出口 合流後の温度	160℃	<input type="text"/>
F5	熱交換器出口 合流後の流量	1,200×10 <sup>3</sup> kg/h	F1 と同じ

## 2. 熱交換器出口温度について

島根 2 号炉と島根 1 号炉の比較を表 3 に示す。

表 3 島根 2 号炉と島根 1 号炉の比較

	島根 2 号炉	島根 1 号炉	備 考
定格電気出力	約 82 万 kW	約 46 万 kW	
定格熱出力	約 244 万 kW	約 138 万 kW	
熱交換器 1 基当たりの除熱量	$26.4 \times 10^6 \text{kcal/h}$	$15.5 \times 10^6 \text{kcal/h}$	原子炉停止 4 時間後の崩壊熱量, 原子炉冷却材温度変化率 $55^\circ\text{C/h}$ の場合
残留熱除去系システム流量	$1,200 \times 10^3 \text{kg/h}$	$782 \times 10^3 \text{kg/h}$	
バイパス流量 (システム流量に対する割合)	<input type="text"/> kg/h (約 <input type="text"/> %)	<input type="text"/> kg/h (約 <input type="text"/> %)	
熱交換器側流量 (システム流量に対する割合)	<input type="text"/> kg/h (約 <input type="text"/> %)	<input type="text"/> kg/h (約 <input type="text"/> %)	
熱交換器入口温度	$182^\circ\text{C}$	$160^\circ\text{C}$	
熱交換器出口温度	$126^\circ\text{C}$	$58^\circ\text{C}$	
熱交換器の炉水の通水仕様	管側通水	胴側通水	

島根 2 号炉の熱交換器は、島根 1 号炉と比較して以下が異なる。

- ・島根 2 号炉では熱交換器の管側に炉水、胴側に冷却水が流れており、管側に冷却水、胴側に炉水が流れる島根 1 号炉の熱交換器と比較して、期待する性能を得るために必要な被冷却側流体である炉水の流量は増加する傾向がある。
- ・島根 2 号炉の熱交換器入口温度は  $182^\circ\text{C}$  と島根 1 号炉の  $160^\circ\text{C}$  と比較して高くなっている。

一般的に熱交換器での除熱量は、熱交換器出入口での被冷却側流体の温度差と流量の積により表される。除熱量が同じ場合は、被冷却側流体の流量が増加すると、熱交換器出入口の温度差は小さくなり、出口温度は入口温度に近づくため、出口温度が高くなる傾向を示す。

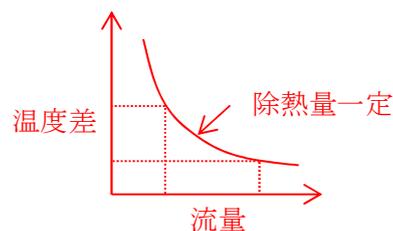


図 1 除熱量と温度差と流量の関係

以上より、島根 2 号炉では熱交換器の流量が比較的多く、熱交換器出入口の温度差が小さいため、熱交換器出口温度は、島根 1 号炉の 58℃と比較した場合、島根 2 号炉は 126℃と高くなっていると考えられる。

島根 2 号炉と島根 1 号炉の評価概略図を図 2 および図 3 に示す。

必要除熱量 :  $26.4 \times 10^6 \text{kcal/h}$   
 ( 原子炉温度 :  $182^\circ\text{C}$  )  
 原子炉冷却温度変化率 :  $55^\circ\text{C/h}$

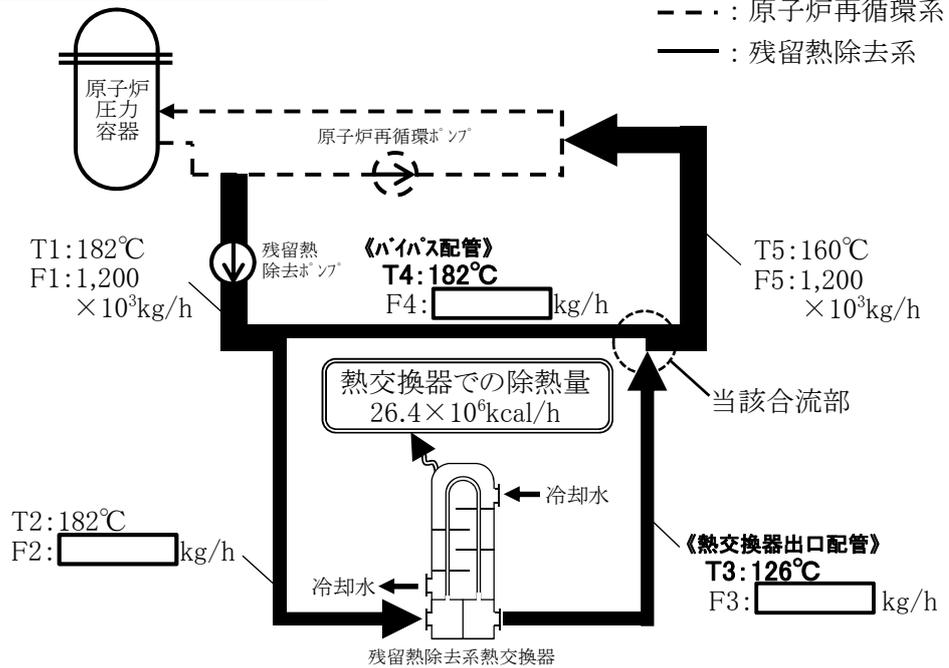


図 2 2号炉熱交換器出口配管とバイパス配管合流部の評価概略図

必要除熱量 :  $15.5 \times 10^6 \text{kcal/h}$   
 ( 原子炉温度 :  $160^\circ\text{C}$  )  
 原子炉冷却温度変化率 :  $55^\circ\text{C/h}$

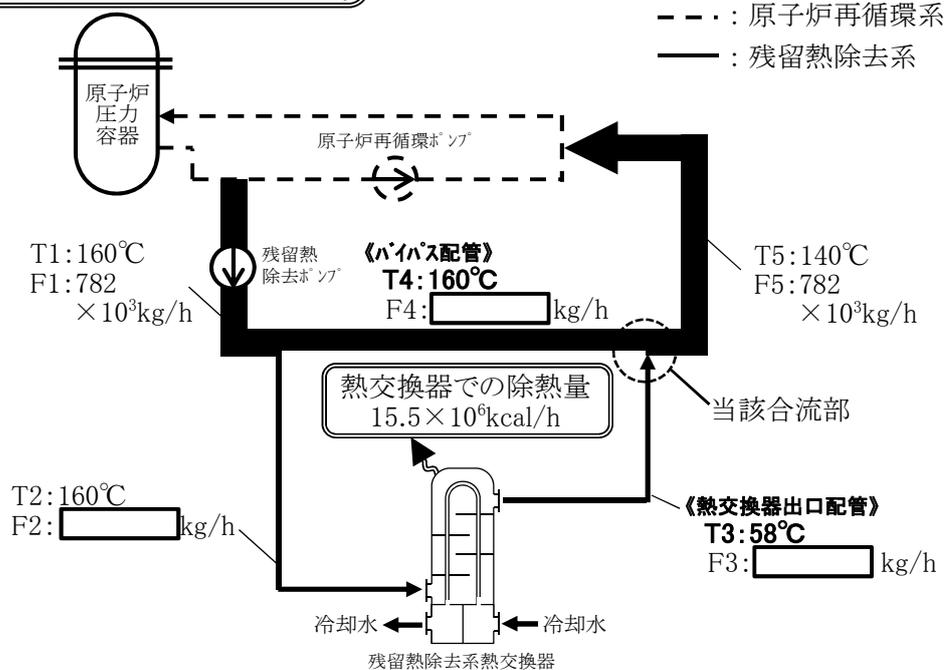


図 3 1号炉熱交換器出口配管とバイパス配管合流部の評価概略図