

## 志賀原子力発電所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20年7月4日  
北陸電力株式会社

当社は、志賀原子力発電所2号機の一次冷却材が循環する配管について評価を行い、同配管に高サイクル熱疲労による損傷により健全性に問題となる部位はなく、評価に影響を与える改造を行っていないことを確認し、本日(7月4日)、原子力安全・保安院に報告いたしましたので、お知らせいたします。

これは、同院からの指示「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について」(平成17年12月27日付)に基づき、志賀2号機の一次冷却材が循環する配管で、通常運転時に温度変動が生じる可能性がある部位について健全性の評価を実施するとともに、「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年2月16日付)に従い、評価に影響を与える可能性がある改造がないことを確認したものです。

なお、本報告は、至近の定期検査である第1回定期検査の終了に伴い、本日報告したものです。

以上

高サイクル熱疲労による損傷

高低温水の混合部位などで、多数の温度変化が繰り返されることにより金属に割れが発生すること。

志賀原子力発電所 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 0 年 7 月

北陸電力株式会社

## 1. 目的

平成17年12月27日付け「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について」および「別紙2 新省令第6条における高サイクル熱疲労による損傷の防止に関する当面の措置について」(平成17・12・22 原院第6号)の指示に基づき実施した志賀原子力発電所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。

また、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)に従い、高サイクル熱疲労割れが発生する可能性が高いと特定された部位の上流側又は下流側での改造の影響を確認する。

## 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条及び解釈第6条第2項及び第3項に基づき、以下の通り評価を実施した。

### (1) 評価対象施設

省令62号第6条及び解釈第6条第3項により、原子炉冷却材浄化系、残留熱除去系(原子炉停止時冷却モード)を含む一次冷却材が循環する施設を評価対象とした。

### (2) 高サイクル熱疲労モードの分類

高サイクル熱疲労モードは以下の通り分類される。

- ・ 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、高低温水合流型及びキャビティフロー型熱成層について、評価対象部位を日本機械学会「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」(JSME

S017-2003)(以下、「評価指針」という。)に基づき抽出した。また、評価対象部位の抽出及び評価に影響を与える改造は無かったことを確認した。

なお、評価指針においては、運転操作型熱成層、弁グランドリーク型熱成層及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とされており評価対象外とした。

#### 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箇所において、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、当該現象発生の可能性のある箇所を評価対象部位として以下の通り抽出<sup>1</sup>した。

- ( a ) 残留熱除去系熱交換器(A)出口配管とバイパス配管との合流部
- ( b ) 残留熱除去系熱交換器(B)出口配管とバイパス配管との合流部
- ( c ) 残留熱除去系熱交換器(C)出口配管とバイパス配管との合流部
- ( d ) 給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンポンプ吐出配管と給復水系母管との合流部
- ( e ) 給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンポンプ(A)入口配管と給復水系からの戻り配管の合流部
- ( f ) 給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンポンプ(B)入口配管と給復水系からの戻り配管の合流部
- ( g ) 給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンポンプ(C)入口配管と給復水系からの戻り配管の合流部

(添付資料 - 1 )

1 :「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)において原子炉給水ノズル部のサーマルスリーブ構造及び原子炉冷却材浄化系配管と給水系配管との合流部のリコンビネーションティー構造は、熱疲労割れ対策として有効に機能していると認められることから、対象部位から除外して差し支えないものとされていることから対象外とした。

(添付資料 - 2 , 3 )

## 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、高温流体が流れる配管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、当該現象発生の可能性のある箇所を評価対象部位として以下の通り抽出<sup>2</sup>した。

( a ) タービン駆動原子炉給水ポンプ(A)ミニマムフロー配管

( b ) タービン駆動原子炉給水ポンプ(B)ミニマムフロー配管

( 添付資料 - 4 )

2 : 評価指針においては、評価対象部位を以下の通りとしている。

- ・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する。滞留配管の水平管が当該配管以上の高さであり、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する。
- ・分岐管口径は、50 A ~ 300 A 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 以下の部位を対象とする。
- ・主管流速は、5m/ s ~ 18m/ s を対象とする。

## ( 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、評価指針に基づき評価を行った。

### a . 高低温水合流型

( 3 ) a . で抽出した箇所の健全性評価を評価指針の「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（添付資料 - 5）」に基づき実施した。

( 添付資料 - 6 )

( a ) 残留熱除去系熱交換器(A)出口配管とバイパス配管との合流部

熱応力は最大 81.5MPa と評価され、当該合流部材料の疲労限 86.2MPa 未満であり、健全であることを確認した。

( b ) 残留熱除去系熱交換器(B)出口配管とバイパス配管との合流部

( A ) 系と同様であり，健全であることを確認した。

( c ) 残留熱除去系熱交換器(C)出口配管とバイパス配管との合流部

( A ) 系と同様であり，健全であることを確認した。

( d ) 給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンポンプ吐出配管と給復水系母管との合流部

当該合流部の流体温度差は 42.1 であり，評価指針の判定温度差 43.0 未満であることより，健全であることを確認した。

( e ) 給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンポンプ(A)入口配管と給復水系からの戻り配管の合流部

熱応力は最大 65.1MPa と評価され，当該合流部材料の疲労限 86.2MPa 未満であり，健全であることを確認した。

( f ) 給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンポンプ(B)入口配管と給復水系からの戻り配管の合流部

( A ) 系と同様であり，健全であることを確認した。

( g ) 給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンポンプ(C)入口配管と給復水系からの戻り配管の合流部

( A ) 系と同様であり，健全であることを確認した。

#### b . キャビティフロー型熱成層

( 3 ) b . で抽出した箇所の健全性評価を評価指針の「閉塞分岐管滞留部に発生するキャビティフロー型熱成層現象評価フロー( 添付資料 - 7 )」に基づき実施した。

( 添付資料 - 8 , 9 )

( a ) タービン駆動原子炉給水ポンプ(A)ミニマムフロー配管

主管と雰囲気温度との差は 147.1 であり、評価指針の判定温度差 44.6 を超えている。分岐管鉛直部長さは 45.3Db であり、分岐管鉛直部への侵入判定長さ 33.8Db 以上であり、健全であることを確認した。

- (b) タービン駆動原子炉給水ポンプ (B) ミニマムフロー配管  
(A) 系と同様であり、健全であることを確認した。

### 3. 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結果

以上の評価の通り、志賀 2 号機について通常運転時に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ことを確認した。

### 4. 添付資料

添付資料 - 1 : 志賀 2 号機 高低温水合流型高サイクル熱疲労の評価対象部位

添付資料 - 2 : 原子炉給水ノズル部のサーマルスリーブ構造図

添付資料 - 3 : 原子炉冷却材浄化系配管と給水系配管との合流部のリコンビネーションティール構造図

添付資料 - 4 : 志賀 2 号機 キャビティーフロー型熱成層による高サイクル熱疲労の評価対象部位

添付資料 - 5 : 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

添付資料 - 6 : 高低温水合流型高サイクル熱疲労の評価結果

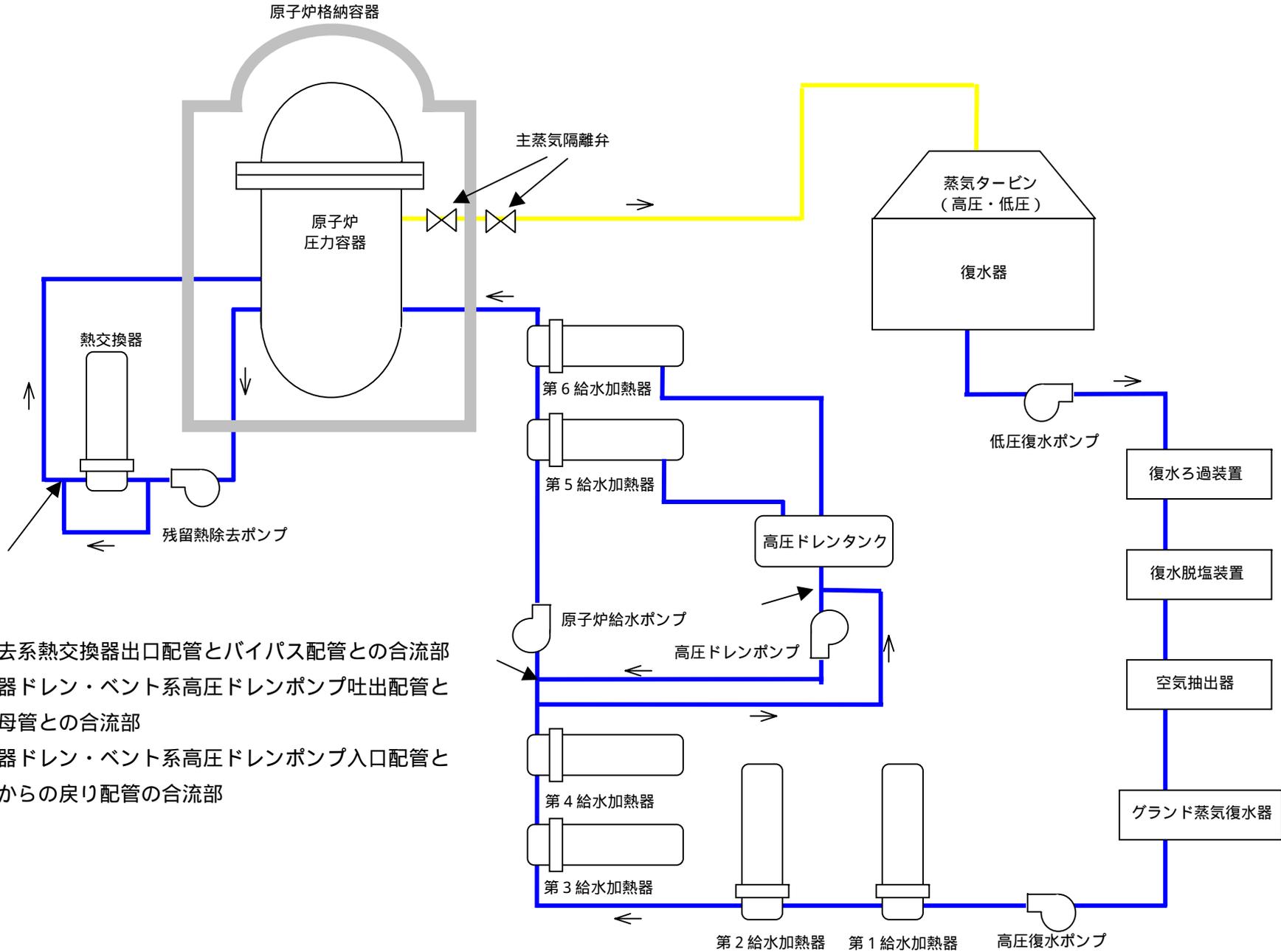
添付資料 - 7 : 閉塞分岐管滞留部に発生するキャビティーフロー型熱成層現象評価フロー

添付資料 - 8 : タービン駆動原子炉給水ポンプミニマムフロー配管図

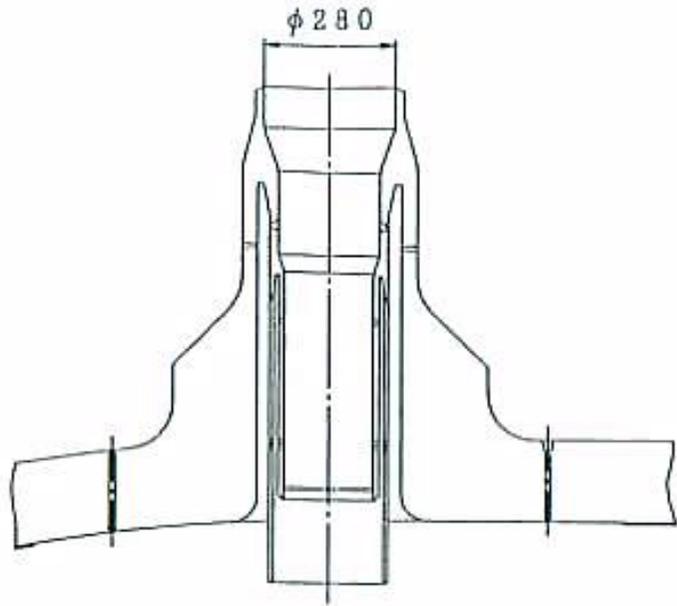
添付資料 - 9 : キャビティーフロー型熱成層による高サイクル熱疲労の評価結果

以上

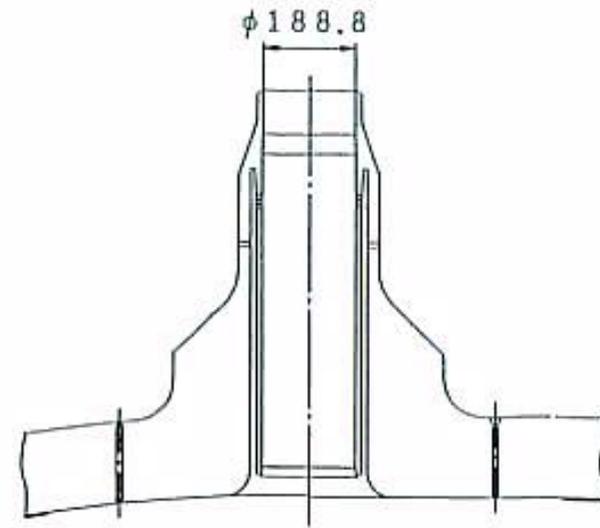
# 志賀 2 号機 高低温水合流型高サイクル熱疲労の評価対象部位



- : 残留熱除去系熱交換器出口配管とバイパス配管との合流部
- : 給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンポンプ吐出配管と給復水系母管との合流部
- : 給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンポンプ入口配管と給復水系からの戻り配管の合流部

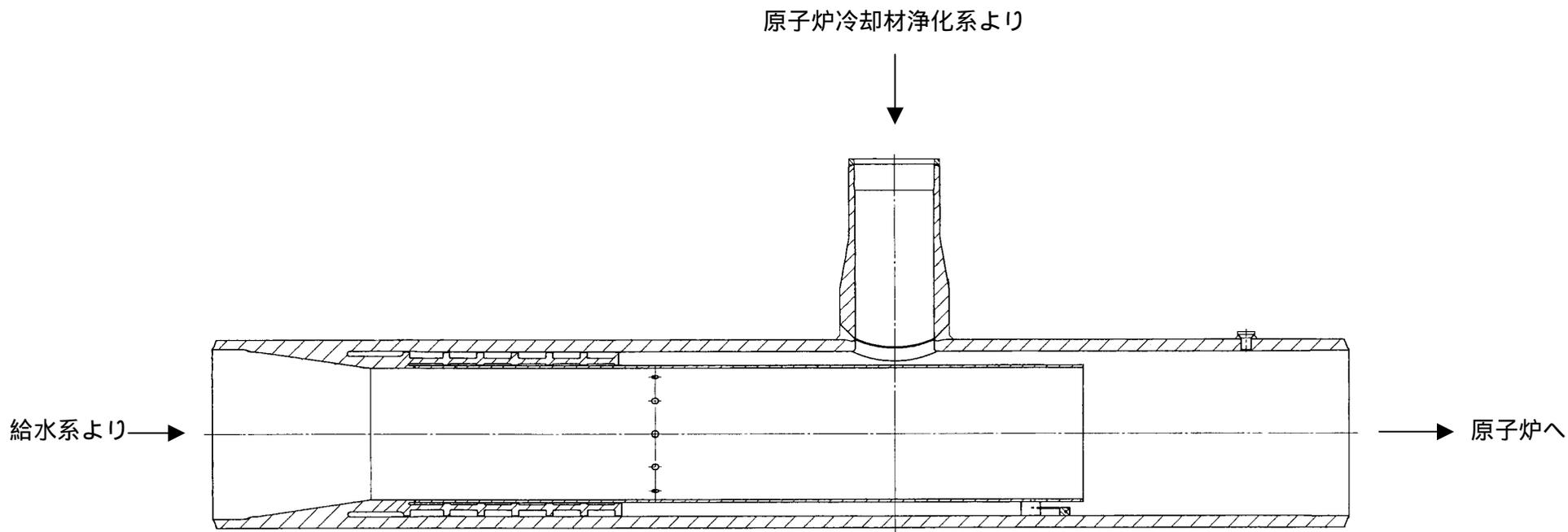


原子炉給水ノズル



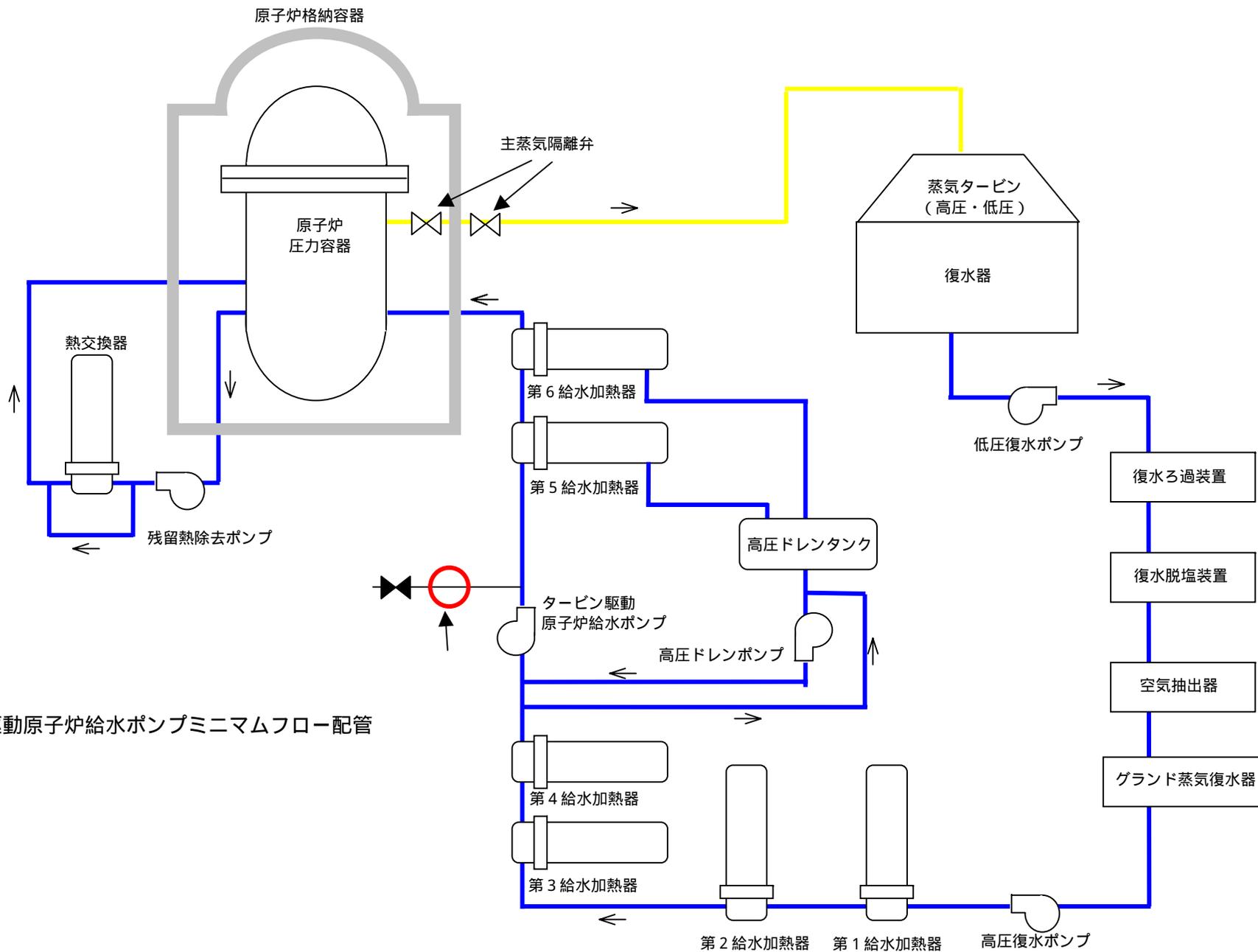
低圧注水ノズル

原子炉給水ノズル サーマルスリーブ構造図



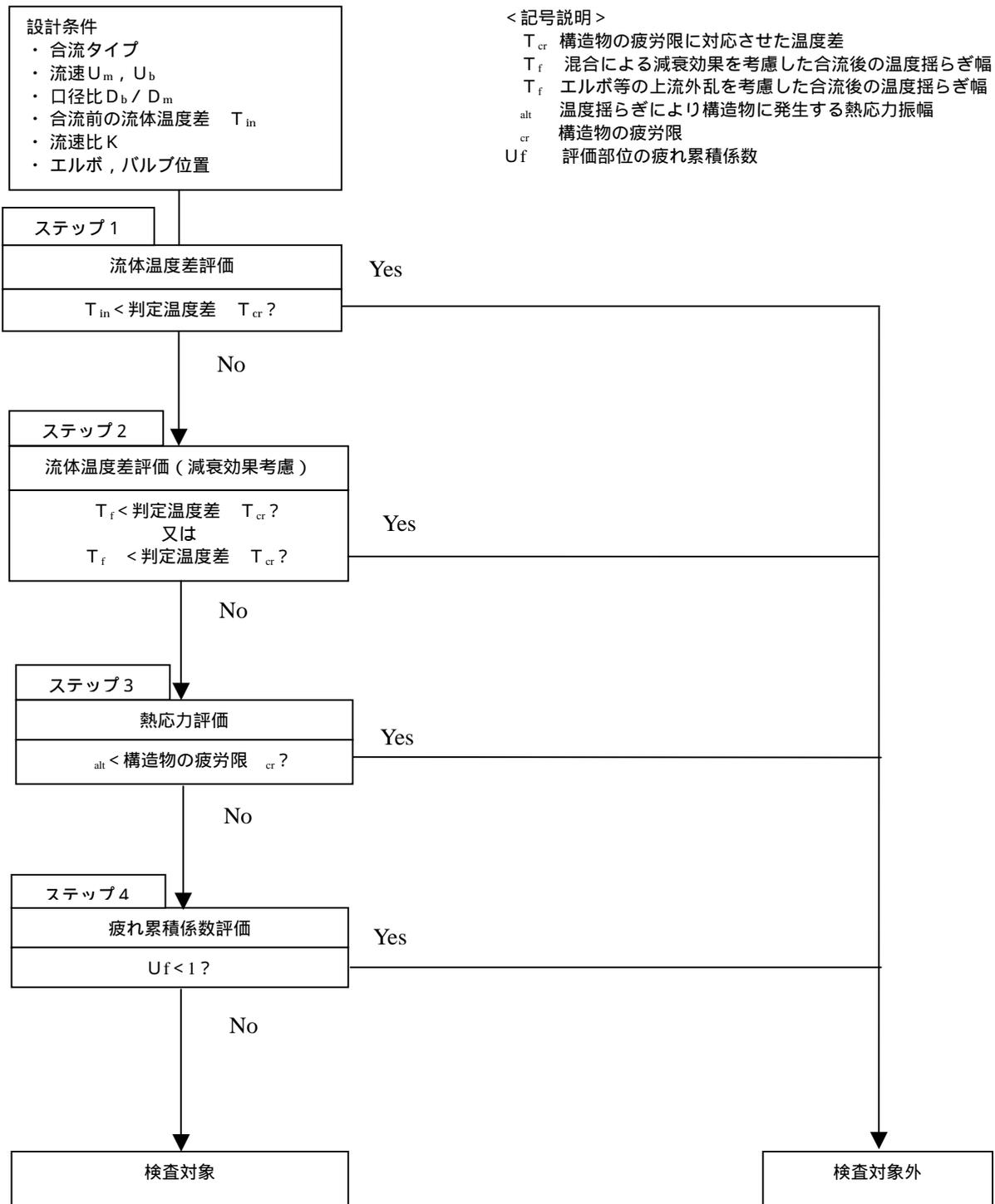
原子炉冷却材浄化系配管と給水系配管との合流部 リコンビネーションティー構造図

# 志賀2号機 キャビティーフロー型熱成層による高サイクル熱疲労の評価対象部位



: タービン駆動原子炉給水ポンプミニマムフロー配管

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



## 高低温水合流型高サイクル熱疲労の評価結果

部位名称	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			備考
	主流温度	支流温度	合流部 流体 温度差	判定値	判定	最大減衰 係数	温度揺ら ぎ幅	判定値	判定	熱応力 振幅	疲労限	判定	運転時間	疲れ累積 係数	判定	
	T1( )	T2( )	Tin( )	Tcr( )	Tin< Tcr	max	Tf( )	Tcr( )	Tf< Tcr	alt (MPa)	cr (MPa)	alt< cr	(h)	Uf	Uf<1	
			T1-T2	指針による		指針による	Tin × max	指針による		評価値	指針による		評価値	評価値		
残留熱除去系熱交換器(A)出口配管と ハイパス配管との合流部	39.0 <sup>(1)</sup>	120 <sup>(2)</sup>	81.0	47.5	×	1 <sup>(5)</sup>	81.0	47.5	×	81.5	86.2		-	-	-	
残留熱除去系熱交換器(B)出口配管と ハイパス配管との合流部	39.0 <sup>(1)</sup>	120 <sup>(2)</sup>	81.0	47.5	×	1 <sup>(5)</sup>	81.0	47.5	×	81.5	86.2		-	-	-	
残留熱除去系熱交換器(C)出口配管と ハイパス配管との合流部	39.0 <sup>(1)</sup>	120 <sup>(2)</sup>	81.0	47.5	×	1 <sup>(5)</sup>	81.0	47.5	×	81.5	86.2		-	-	-	
給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンボ ンプ吐出配管と給復水系母管との合流部	140.7 <sup>(3)</sup>	182.8 <sup>(4)</sup>	42.1	43.0		-	-	-	-	-	-		-	-	-	
給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンボ ンプ(A)入口配管と給復水系からの戻り 配管の合流部	191.4 <sup>(3)</sup>	140.7 <sup>(3)</sup>	50.7	42.4	×	0.930	47.2	42.4	×	65.1	86.2		-	-	-	
給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンボ ンプ(B)入口配管と給復水系からの戻り 配管の合流部	191.4 <sup>(3)</sup>	140.7 <sup>(3)</sup>	50.7	42.4	×	0.930	47.2	42.4	×	65.1	86.2		-	-	-	
給水加熱器ドレン・ベント系高圧ドレンボ ンプ(C)入口配管と給復水系からの戻り 配管の合流部	191.4 <sup>(3)</sup>	140.7 <sup>(3)</sup>	50.7	42.4	×	0.930	47.2	42.4	×	65.1	86.2		-	-	-	

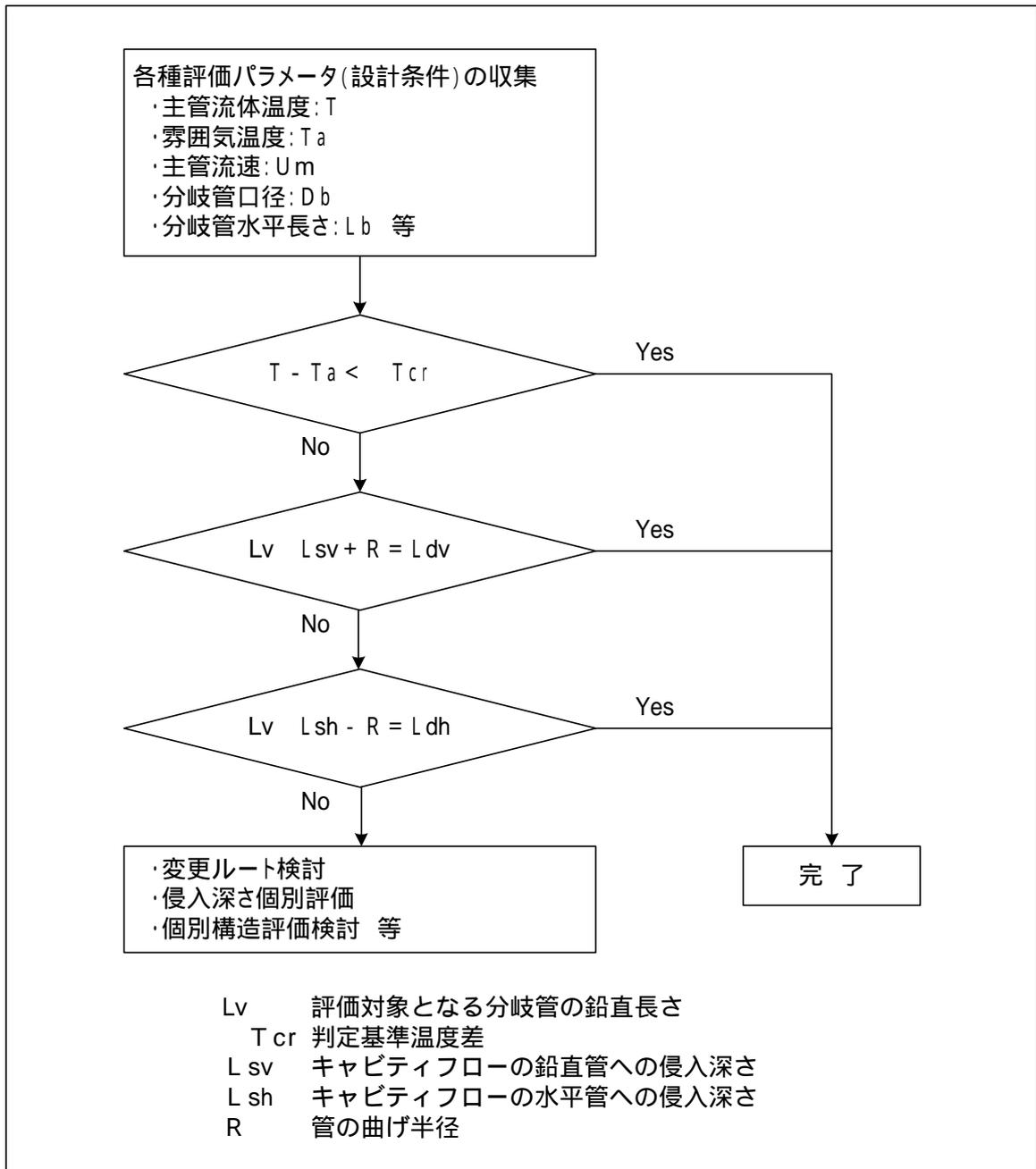
凡例

○ : 判定値を満足

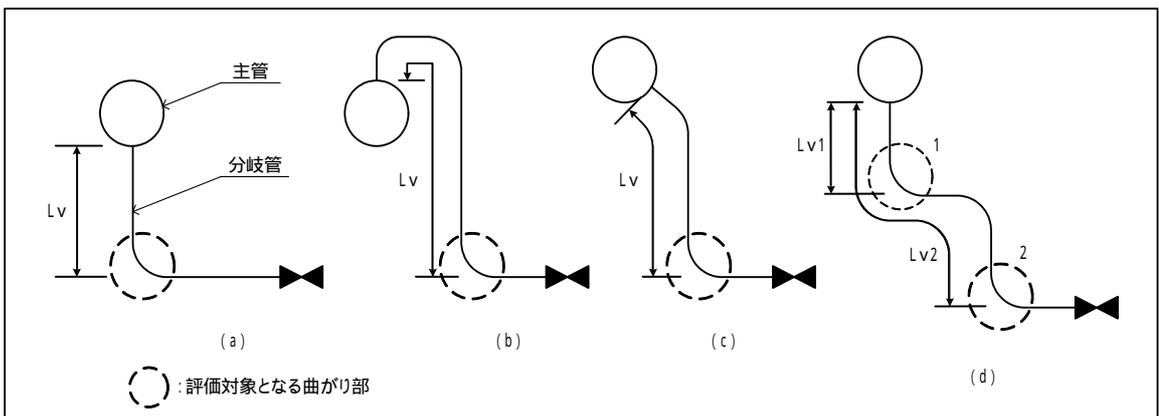
× : 判定値を満足しない

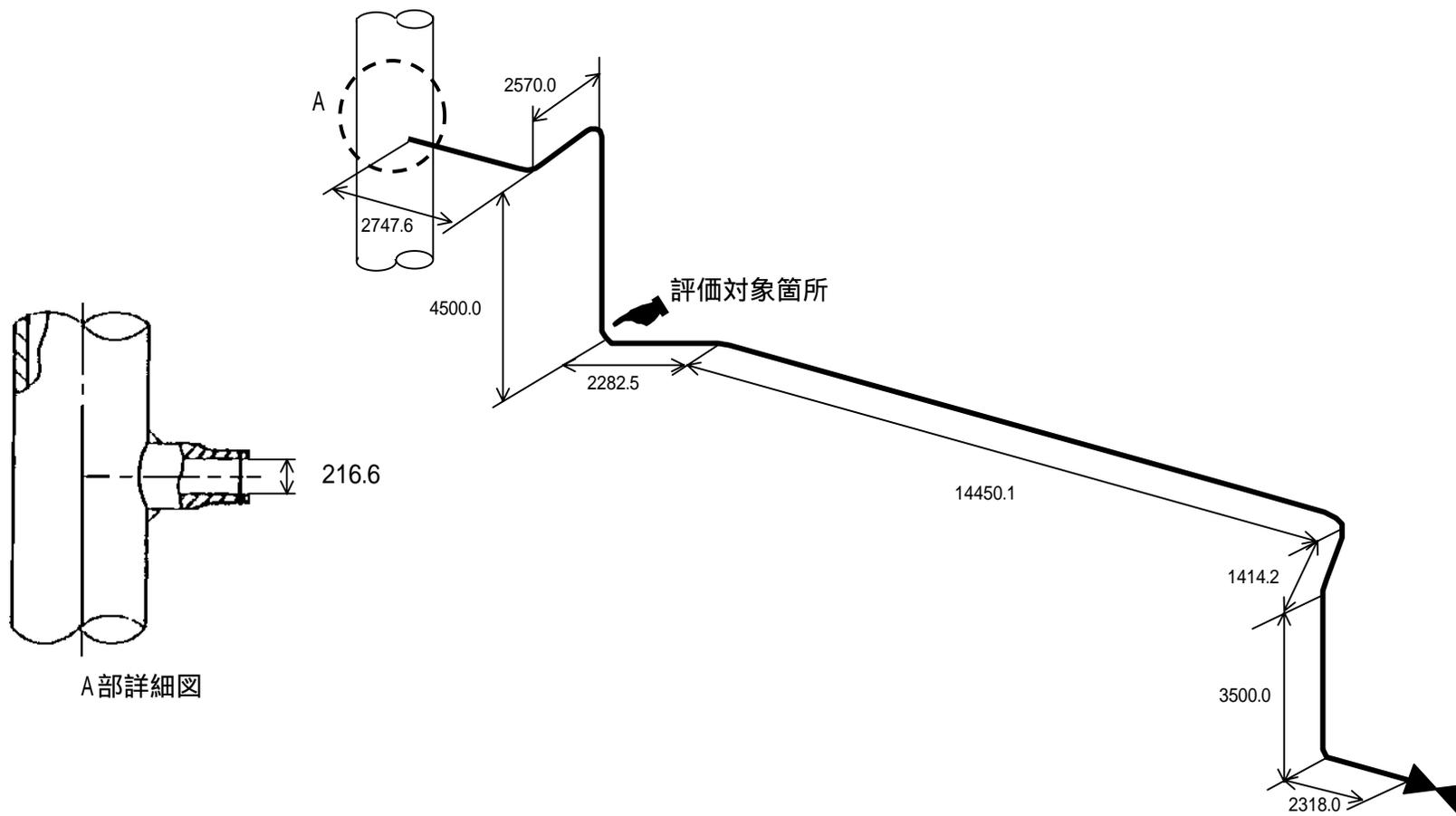
- 1: 停止時冷却モード投入時の制限温度上限の流体が残留熱除去系熱交換器で熱交換された後の評価値
- 2: 停止時冷却モード投入時の制限温度上限
- 3: 系統の設計温度
- 4: 系統の設計温度と流量より算出
- 5: 流速比が一定ではないため、安全側に1とした

閉塞分岐管滞留部に発生するキャピティブロー型熱成層現象評価フロー

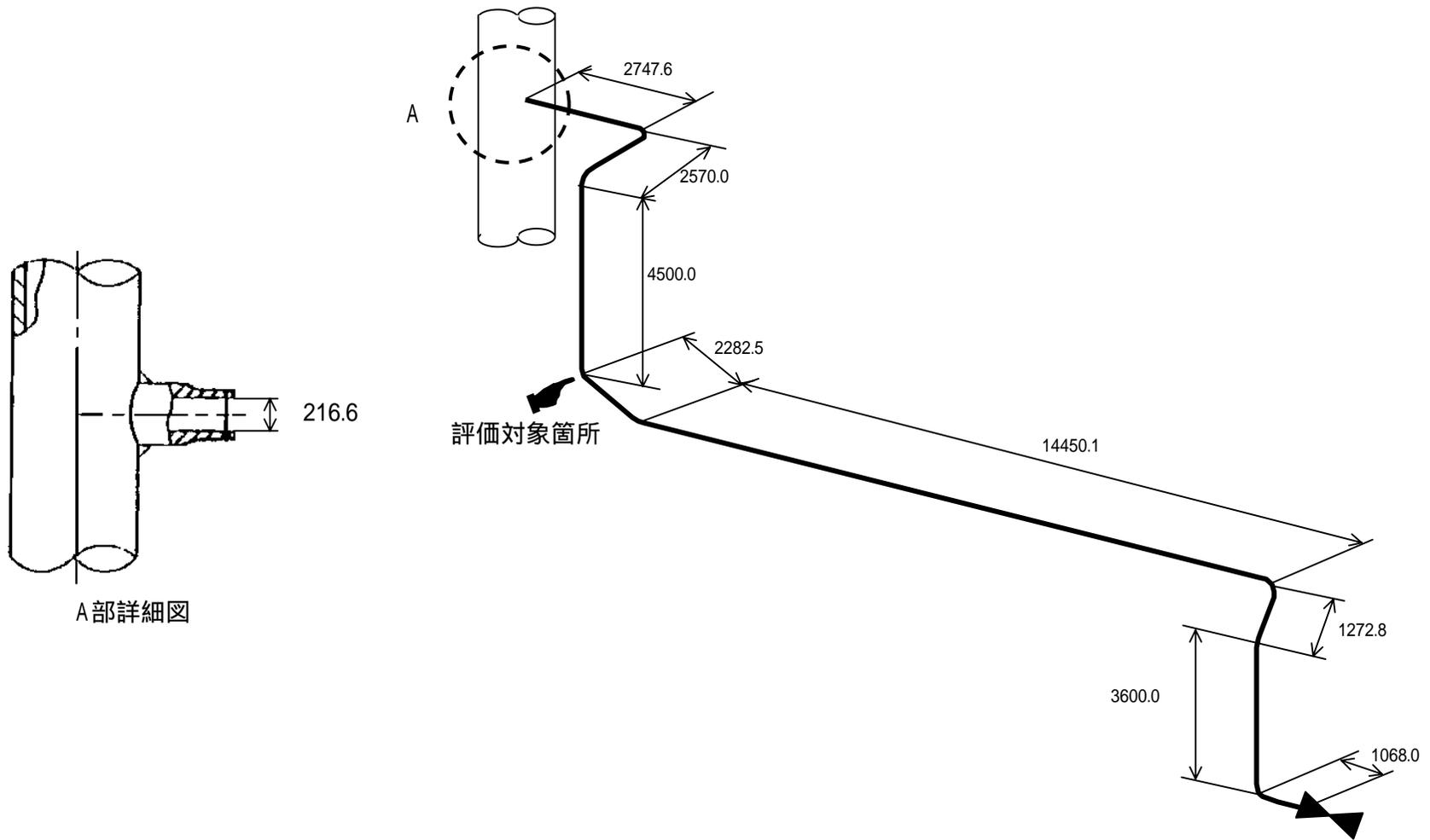


$L_v$  の定義例





タービン駆動原子炉給水ポンプ ( A ) ミニマムフロー配管図



タービン駆動原子炉給水ポンプ ( B ) ミニマムフロー配管図

## キャビティフロー型熱成層による高サイクル熱疲労の評価結果

タービン駆動原子炉給水ポンプミニマムフロー配管

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	
	温度 T <sup>1</sup>	流速 U <sup>2</sup>	内径 Db	分岐 タイプ <sup>3</sup>	雰囲気 温度 Ta <sup>4</sup>	温度差 T-Ta	判定値 Tcr	判定 T-Ta< Tcr	分岐管 鉛直部 長さ Lv/Db	鉛直部 判定長さ Ldv/Db	判定 Lv Ldv	水平部 判定長さ Ldh/Db	判定 Lv Ldh
	[ ]	[m/s]	[mm]		[ ]	[ ]	[ ]		[ - ]	[ - ]		[ - ]	
(A)	157.1	5.79	216.6	(d)	10.0	147.1	44.6	×	45.3	33.8		-	-
(B)	157.1	5.79	216.6	(d)	10.0	147.1	44.6	×	45.3	33.8		-	-

○：判定条件を満足している

×：判定条件を満足していない

1：主管温度は系統の設計温度

2：主管流速は系統の設計流量

3：最も主管に近い曲がり部について、ステップ2評価で判定条件を満足しているため、その下流については評価実施せず。

4：雰囲気温度は空調換気系の設計最低温度（10℃）を基に設定