

弁

1 機器

弁に起因した事故・故障は、平成12年度末現在において31件発生している。

内訳を見ると、1次系、2次系の広範囲にわたるが、その中でも2次系にある蒸気加減弁と主給水制御弁での発生実績が多い。

2 部位

部位別の内訳を見ると、弁を構成する内部品（グランド、シート、弁棒、弁体等）と外部品（弁駆動用部品、制御用部品等）の広範囲にわたり損傷や故障がみられる。

内部品については、グランド部での発生が一番多いが、他の部位に比べて特段多いというわけではない。また、外部品については、特異的に発生している部位は認められない。

3 原因

原因別の内訳を見た場合、約半数が保守不完全に起因するものである。また、約3分の1が設計不良に起因するものである。

4 損傷モード

損傷モードの内訳は、疲労損傷が半分を占めており、その他、摩耗、応力腐食割れ、座屈、部品劣化が見られる。

しかしながら、損傷モードを特定できているのは発生件数の約1/3となっている。これは原因別の内訳で見たとおり、保守不完全や製作不良に起因するものが多く、明確な損傷というより、組込み不良などの作業管理にかかるものが多いためと考えられる。

（1）疲労損傷

2次系の蒸気加減弁、主給水制御弁、高圧給水加熱器水位制御弁で発生している。
損傷の要因は、蒸気加減弁では、弁開閉に伴う繰り返し応力や蒸気流による振動であり、高圧給水加熱器水位制御弁では、弁開度調節用空気供給に伴う振動である。

（2）摩耗

2次系の蒸気加減弁、主給水制御弁で発生している。
損傷の要因は、蒸気流による振動である。

（3）応力腐食割れ

1次系のRTD高温側入口弁で発生している。
損傷の要因は、取付不良による過大応力である。

（4）座屈

2次系の蒸気加減弁で発生している。

損傷の要因は、部品保持部との摩擦力である。

(5) 部品劣化

1次系の蓄圧タンク逃し弁で発生している。

損傷の要因は、運転に伴うシート面の荒れである。

5 考察

弁の損傷は、近年発生していない。

原因としては保守不完全によるものが多いことから、定期検査での分解点検等における、品質管理、作業管理を十分に行うことが重要と考えられる。

弁

(合計件数)

31)

機器	部位	原因	損傷モード	原因または損傷の主因	S45	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12			
加圧器スプレイ弁バイパス弁	1 グランド部	1 保守不完全	-	(締付力不足)	1																																	
蓄圧タンク選し弁	2 シート部	2 保守不完全	-	(窒素圧力上昇)	1																																	
		保守不完全	部品劣化	(面あれ)	1																																	
蓄圧注入逆止弁	1 ガasket	1 製作不良	-	(規格違い)	1																																	
蓄圧注入系テストコネクション弁	1 グランド部	1 保守不完全	-	(弁状態確認不十分)	1																																	
格納容器スプレークラ出口弁	1 リング	1 その他	-	(残留空気)	1																																	
余熱除去ポンプ入口弁	1 弁駆動用モータ (スプリングセットねじ)	1 製作不良	-	(かしめ不良)	1																																	
1次冷却材試料採取弁	1 シート部	1 保守不完全	-	(異物かみこみ)	1																																	
1次冷却材流量検出用弁	1 ガasket	1 保守不完全	-	(異物かみこみ)	1																																	
RTD高温側入口弁	1 ダイアフラム	1 保守不完全	応力腐食割れ	(取付不良による応力)	1																																	
スプレ弁	1 グランド部	1 その他	-	-	1																																	
蒸気発生器ブロー弁	1 グランド部	1 保守不完全	-	(組込み不良)	1																																	
主蒸気隔離弁	1 弁棒	1 保守不完全	-	(鏡面仕上げ抵抗増加)	1																																	
主蒸気隔離弁バイパス弁	1 操作スイッチ	1 保守不完全	-	(異物による接触不良)	1																																	
蒸気加減弁	7 弁座	2 製作不良	疲労損傷	(繰り返し応力)	2																																	
						開度検出器 (差動トランスケーブル)	2	1 施工不良	-	(引き込み不良)	1																											
	開度検出器 (差動トランスロッド)	1 製作不良	座屈	(保持部との摩擦)	1																																	
	制御油圧調整	1 保守不完全	-	(調整不良)	1																																	
	弁体	1 その他	摩耗	(振動)	1																																	
	消音部	1 設計不良	疲労損傷	(振動)	1																																	
主給水制御弁	5 弁体 (弁棒接合部)	2	1 施工・製作不良	-	(溶接不良)	1																																
			製作不良	-	(規格はずれ)	1																																
	シートリング	1 保守不完全	摩耗	(振動)	1																																	
	ダイヤフラム	1 保守不完全	-	(締付け不良)	1																																	
	弁棒	1 製作不良	疲労損傷	(振動)	1																																	
主給水バイパス制御弁	1 空気量増幅器	1 保守不完全	-	(異物つまり)	1																																	
主給水ポンプ出口弁	1 グランド部	1 製作不良	-	(組込み不良)	1																																	
高圧給水加熱器水位制御弁	2 ポジショナ	1 保守不完全	-	(組込み不良)	1																																	
	開度調節用空気導管	1 設計不良	疲労損傷	(振動)	1																																	
循環水ポンプ循環水流量計後弁	1 -	1 その他	-	(海生物の詰まり)	1																																	

機器別発生実績

機 器		発生件数
1次系	加圧器スプレイ弁バイパス弁	1
	蓄圧タンク逃し弁	2
	蓄圧注入逆止弁	1
	蓄圧注入系テストコネクション弁	1
	格納容器スプレイクーラ出口弁	1
	余熱除去ポンプ入口弁	1
	1次冷却材試料採取弁	1
	1次冷却材流量検出用元弁	1
	R T D高温側入口弁	1
	スプレイ元弁	1
	小計	11
2次系	蒸気発生器ブロー弁	1
	主蒸気隔離弁	1
	主蒸気隔離弁バイパス弁	1
	蒸気加減弁	7
	主給水制御弁	5
	主給水バイパス制御弁	1
	主給水ポンプ出口弁	1
	高圧給水加熱器水位制御弁	2
	小計	19
海水系	循環水ポンプ循環水流量計後弁	1
	小計	1
合計		31

部位別発生実績

	部 位	発生件数
内部品	グランド部	5
	シート部	3
	弁体	3
	弁棒	2
	弁座	2
	ガスケット	2
	シートリング	1
	その他	1
	小計	
外部品	ダイヤフラム	2
	開度検出器	2
	駆動用モータ	1
	制御油圧調整	1
	消音部	1
	空気量増幅器	1
	ポジション	1
	開度調節用空気導管	1
	操作スイッチ	1
	リング	1
	小計	
合計		31

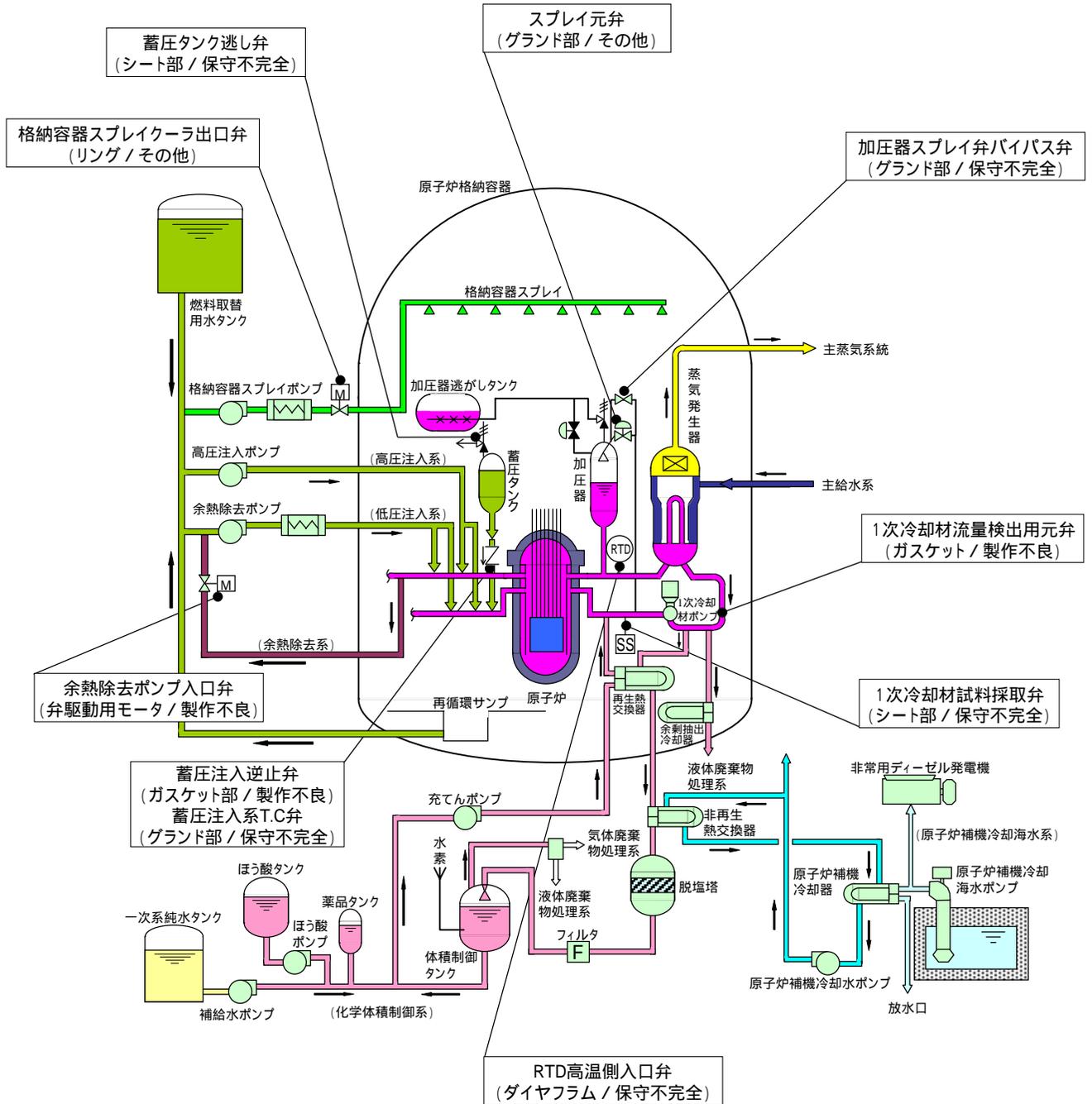
原因別発生実績（重複あり）

原因	発生件数
保守不完全	15
製作不良	9
設計不良	2
施工不良	2
その他	4
合計	32

損傷モード別発生実績

損傷モード	発生件数
疲労損傷	5
摩耗	2
応力腐食割れ	1
座屈	1
部品劣化	1
合計	10

1次系弁損傷モード(例)



(注) SS : 試料採取系統

2次系弁損傷モード(例)

主蒸気隔離弁

弁棒 : 鏡面仕上げ抵抗増加

主蒸気隔離弁バイパス弁

操作スイッチ : 異物による接触不良

蒸気加減弁

弁座 : 疲労損傷(繰り返し応力)
 開度検出器(差動トランスフル) : 引き込み不良
 開度検出器(差動トランスロッド) : 座屈(保持部との摩擦力)
 制御油圧調整 : 調整不良
 弁体 : 摩耗(振動)
 消音部 : 疲労損傷(振動)

蒸気発生器ブロー弁

グランド部 : 組込み不良

主給水ポンプ出口弁

グランド部 : 組込み不良

主給水制御弁

弁体(弁棒接合部) : 溶接不良
 弁体 : 規格はずれ
 シートリング : 摩耗(振動)
 ダイヤフラム : 締付け不良
 弁棒 : 疲労損傷(振動)

主給水バイパス制御弁

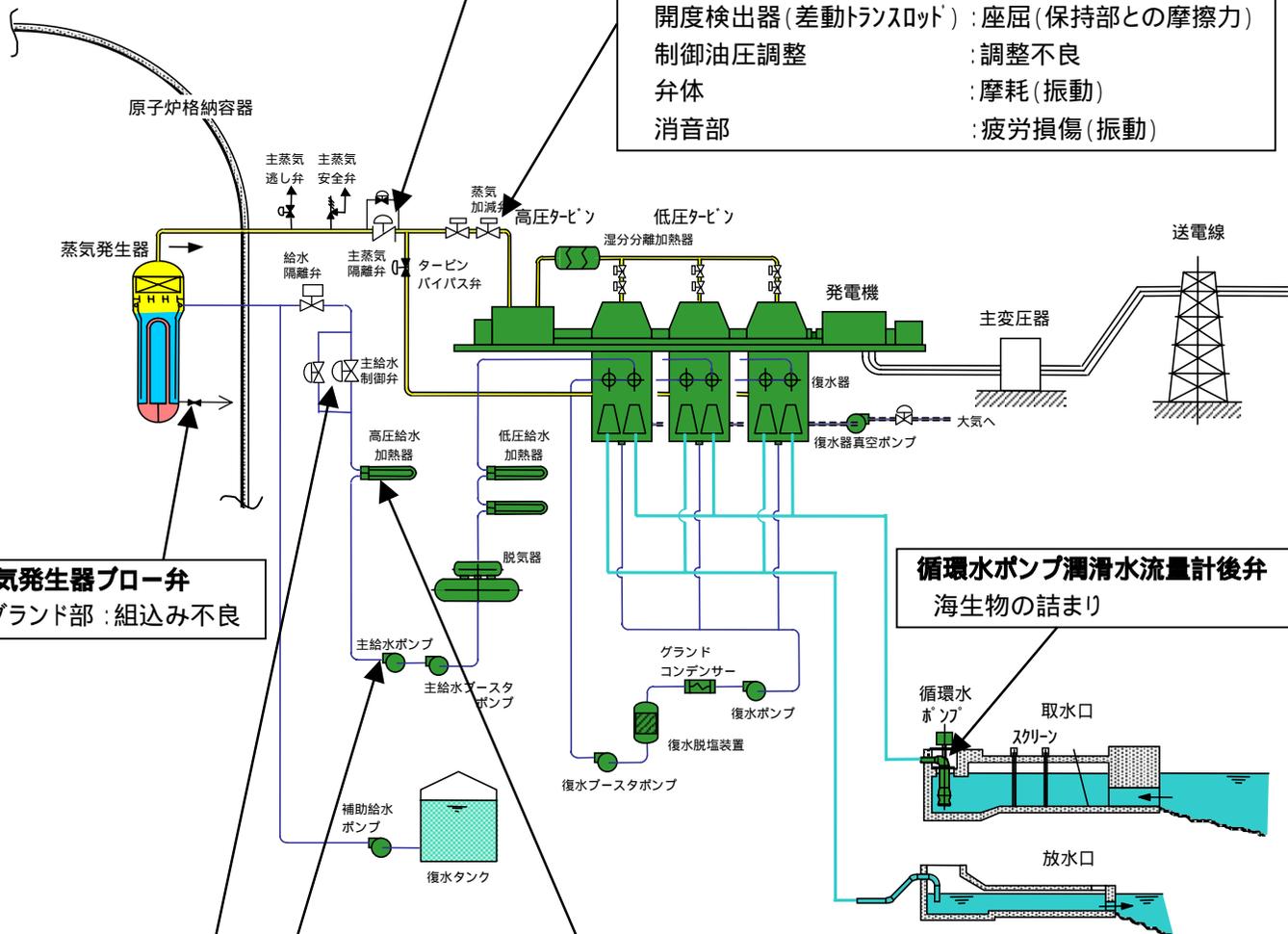
空気量増幅器 : 異物つまり

高圧給水加熱器水位制御弁

ポジション : 組込み不良
 開度調節用空気導管 : 疲労損傷(振動)

循環水ポンプ潤滑水流量計後弁

海生物の詰まり



容器

1 機器

容器の損傷に起因した事故・故障は、平成12年度末現在において10件発生している。

機器別の内訳は原子炉格納容器が1件、原子炉容器上蓋が8件、湿分分離器ドレンタンクが1件である。

2 部位

部位別の内訳をみると、原子炉格納容器の貫通配管溶接部、原子炉容器上蓋のキャノピーシール、湿分分離加熱器ドレンタンクのマンホールで損傷が見られる。

3 原因

原因別の内訳は、製作不良がほとんどで、設計不良、保守不良が各1件ずつである。

4 損傷モード

損傷モードは応力腐食割れである。

(1) 応力腐食割れ

原子炉容器の貫通配管溶接部での損傷は、製作時の溶接による組織鋭敏化が主因である。

原子炉容器上部蓋のキャノピーシールについては、昭和59年度に発生した損傷は製作時の溶接による材料鋭敏化が主因であるが、平成7年度以降の損傷は、製作時に使用したねじ潤滑剤に含まれる塩素に起因して発生したものである。

5 考察

応力腐食割れについて、原子炉格納容器貫通配管では、材料変更等を行い、現在損傷は発生していない。

原子炉容器上部蓋のキャノピーシールについては、原子炉容器上部蓋の取替えに伴い、耐腐食性に優れた材料の採用やキャノピーシールのない構造への変更を行っている。なお、原子炉容器上部蓋の取り替えを行わない敦賀2号機、大飯3、4号機、高浜3、4号機については、当初から耐腐食性に優れた材料を採用していることや、原子炉容器頂部温度低減対策（原子炉容器内に流入した1次冷却材を頂部に導くスプレイングルの内径を大きくすることにより頂部温度の低減を図る）を実施していることから、キャノピーシール部で応力負傷割れが発生する可能性は低いと考えられる。

湿分分離器ドレンタンクのマンホール部の損傷については、異物管理に関するもので、今後も継続的に異物管理の徹底・強化に努めることが必要である。

容器

(合計件数: 10)

機器	部位	原因	損傷モード	原因または損傷の主因	S45	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
原子炉格納容器	1 貫通配管 (溶接部)	1 設計不良	応力腐食割れ	(溶接組織鋭敏化)	1																														
原子炉容器上蓋	8 キャノピーシール	8 製作不良	応力腐食割れ	(溶接組織鋭敏化)	1																														
		製作不良	応力腐食割れ	(塩素)	7																														
湿分離器ドレンタンク	1 マンホール部 (パッキン)	1 保守不完全	-	(異物かみこみ)	1																														

機器別発生実績

機 器	発生件数
原子炉格納容器	1
原子炉容器上蓋	8
湿分分離器ドレンタンク	1
合計	10

部位別発生実績

部 位	発生件数
貫通配管	1
キャノピーシール	8
マンホール部	1
合計	10

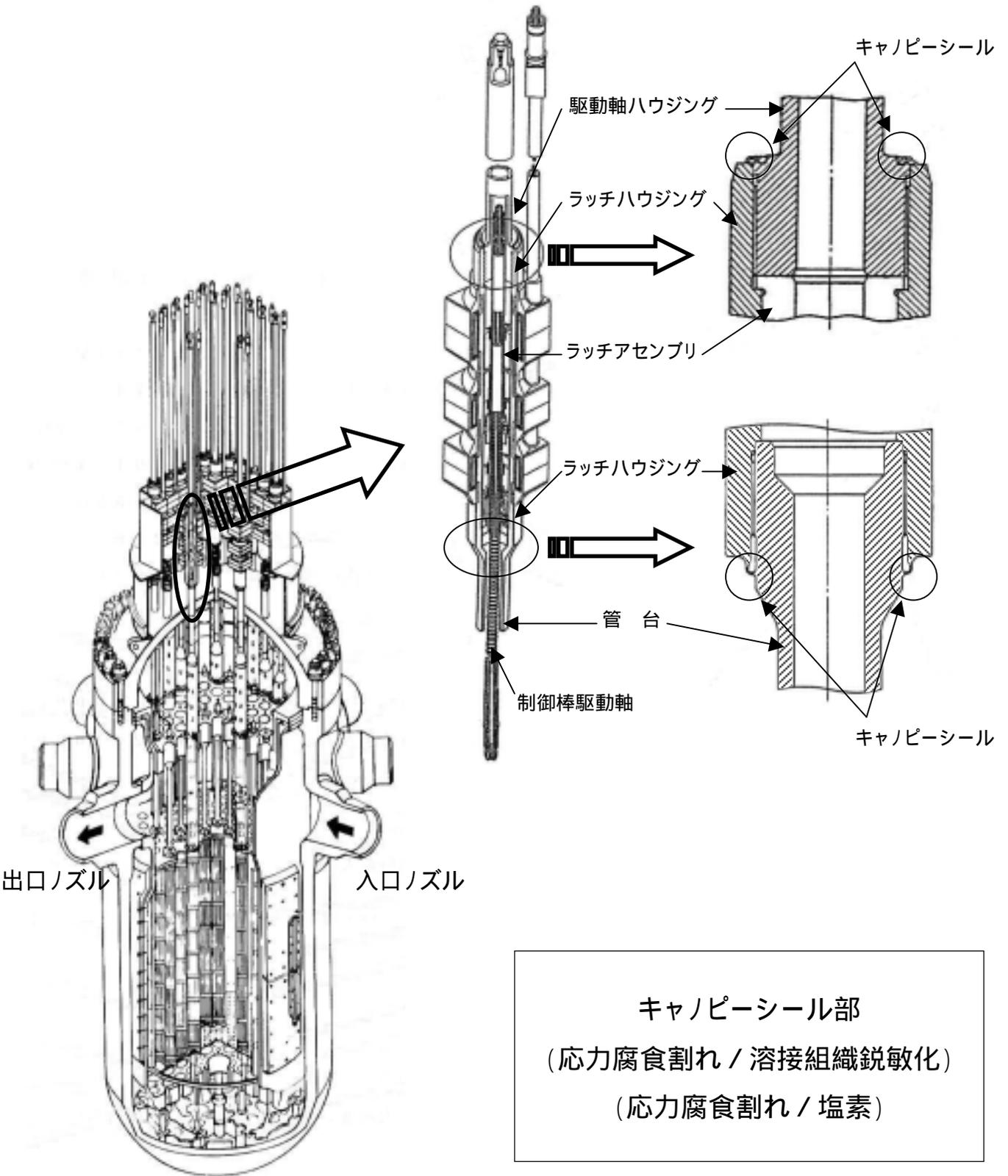
原因別発生実績

原 因	発生件数
製作不良	8
設計不良	1
保守不完全	1
合計	10

損傷モード別発生実績

損傷モード	発生件数
応力腐食割れ	9
合計	9

原子炉容器上蓋損傷モード(例)



炉内構造物

1 機器

炉内構造物の損傷に起因した事故・故障は、平成12年度末現在において11件発生している。

内訳は、制御棒案内管に関するものが10件で、残り1件は定期検査作業時に点検のため炉内構造物の吊り上げを行った際に放射線モニターが上昇したものであり、機器に損傷が発生したものではない。

2 部位

部位別の内訳は、制御棒案内管のたわみピン、支持ピン、支持ピン回止めピンでの損傷が見られる。

3 原因

原因別の内訳は、設計不良がほとんどで、施工不良が1件である。

設計不良は、材料選定にあたっての応力腐食割れに対する割れ感受性への考慮に関してのものである。

4 損傷モード

損傷モードは応力腐食割れがほとんどで、1件摩耗が発生している。

(1) 応力腐食割れ

制御棒案内管のたわみピンと支持ピンで、取付け時の応力、運転時の熱応力、材料の割れ感受性が重なったために発生したものである。

(2) 摩耗

制御棒案内管の支持ピン回止め金具が、取付け不良に起因して水流で振動し、ナットと接触したものである。

5 考察

制御棒案内管のたわみピン、支持ピンの損傷は、昭和50年台に発生しているが、材料の熱処理を変更するなどの対策により、現在発生していない。

また、支持ピン回止め金具の損傷は、平成3年に1件のみ発生しているが、回止め構造を変更することにより発生していないことから、今後発生する可能性は小さいと考えられる。

放射線モニターの上昇は、炉心構造物吊り上げ作業前の検討が不足していたために起こったものであるが、十分な事前検討を行うことにより発生していない。

炉内構造物 (合計件数: 11)

機器	部位	原因	損傷モード	原因および損傷の主因	S45	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	
制御棒案内管	10 たわみピン	4	設計不良	応力腐食割れ (材料の割れ感受性)	4																															
	支持ピン	5	設計不良	応力腐食割れ (材料の割れ感受性)	5																															
	支持ピン回止め金具	1	施工不良	摩耗 (取付け位置不良)	1																															
炉心構造物	1 -	1	その他	- (モニタ指示上昇)	1																															

機器別発生実績

機 器	発生件数
制御棒案内管 炉心構造物	1 0 1
合計	1 1

部位別発生実績

部 位	発生件数
たわみピン 支持ピン 支持ピン回止め金具	4 5 1
合計	1 0

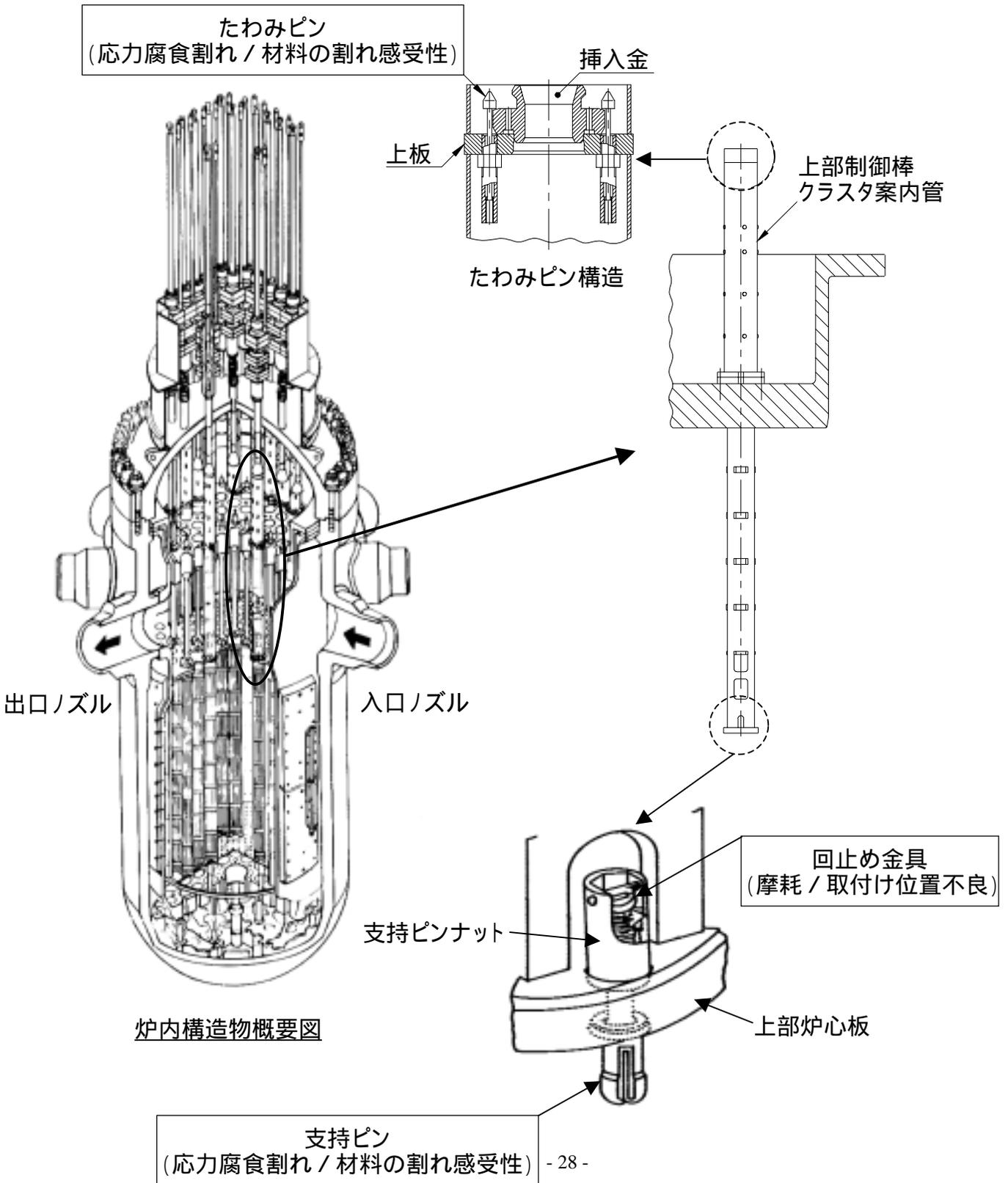
原因別発生実績

原 因	発生件数
設計不良 施工不良 その他	9 1 1
合計	1 1

損傷モード別発生実績

損傷モード	発生件数
応力腐食割れ 摩耗	9 1
合計	1 0

制御棒案内管損傷モード(例)



熱交換器

1 機器

熱交換器の損傷に起因した事故・故障は、平成12年度末現在において114件発生している。

機器別の内訳を見ると、蒸気発生器での発生実績が約8割を占めており、その他、2次系の復水器、低圧給水加熱器、高圧給水加熱器、湿分分離加熱器で発生実績がある。

2 部位

部位別の内訳は、伝熱管での発生実績がほとんどである。

3 原因

蒸気発生器の伝熱管での発生実績が圧倒的に多く、その原因が多岐にわたることから、これを除いた原因別の内訳について見てみると、製作不良やその他が多い。

なお、その他のほとんどは外的要因（海生物の付着）によるものである。

4 損傷モード

蒸気発生器の伝熱管を除いた損傷モードの内訳を見てみると、潰食、疲労損傷、応力腐食割れの発生頻度が若干多い。その他、粒界腐食割れ、浸食、溶接割れも見られる。

（1）潰食

復水器で発生している。

伝熱管の内面への海生物の付着により、局部的な流れの乱れや速度の増加が起きることにより発生している。

（2）疲労損傷

低圧給水加熱器、高圧給水加熱器、湿分分離加熱器で発生している。

低圧給水加熱器と高圧給水加熱器については、ドレン水や抽気蒸気が衝突した際の振動により損傷が発生している。

湿分分離加熱器については、仕切板の製作時に発生した応力腐食割れを起点にして、仕切板内に滞留したドレン水の水位変化により、熱応力が繰り返しかかったために損傷が発生したものである。

（3）応力腐食割れ

高圧給水加熱器で発生している。

製作時の伝熱管挿入作業等で生じた伝熱管外面の傷やへこみを起因として発生したものである。

（4）粒界腐食割れ

低圧給水加熱器で発生している。
製作時の伝熱管曲げ加工時に生じた残留応力により発生したものである。

(5) 浸食

復水器で発生している。
復水器に流入するドレン水が伝熱管の外面にあたることにより発生している。

(6) 溶接割れ

湿分分離加熱器で発生している。
仕切板の熱疲労損傷部を溶接補修した箇所のうち、予熱未実施の部位で溶接割れが発生したものである。

蒸気発生器の伝熱管の損傷モードは、応力腐食割れ、減肉、フレットング摩耗、粒界腐食割れ、疲労割れ、腐食と多岐にわたる。

(1) 応力腐食割れ

製造時や補修時に発生した残留応力と運転中の内圧の重畳、もしくは初期に運転を開始したプラントで2次側水処理剤として用いていたリン酸ソーダと運転中の内圧の重畳により発生している。

(2) 減肉

初期に運転を開始したプラントで2次側水処理剤として用いていたリン酸ソーダの濃縮・残留により発生している。

(3) フレットング摩耗

振れ止め金具と細管の隙間が大きいことにより、細管が振動して発生している。

(4) 粒界腐食割れ

リン酸ソーダの残留や微量水酸化ナトリウムの補給水系統からの流入により発生している。

(5) 疲労損傷

振れ止金具の挿入不足による流力弾性振動により発生している。

(6) 腐食

管板上面に堆積した不純物による腐食環境の形成によりピittingが発生している。

(7) その他

主給水制御弁の取り替えに伴い発生した異物が2次系水室に流入し、伝熱管を摩耗させた事例がある。

5 考察

近年、低圧給水加熱器、湿分分離加熱器での損傷は起きていないが、その他の機器で

は、伝熱管で損傷が起きている。

蒸気発生器では、長い間伝熱管の損傷が続いていたが、平成5年から9年にかけて、耐腐食性に優れた材料（インコネル690）を採用した新蒸気発生器への取替えを行った結果、蒸気発生器取替えを行っていない高浜3、4号機での損傷を除き、伝熱管の損傷は起きていない。

復水器では、海生物の付着による潰食が発生している。また、高圧給水加熱器では製造時の傷に起因する応力腐食割れが発生している。これらについては、原子炉の安全性に影響するものではないが、プラントの信頼性を向上させる観点から対策を検討する必要がある。

熱交換器

(合計件数:

114)

機器	部位		原因	損傷モード	原因および損傷の主因	S45	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12						
蒸気発生器	伝熱管	(内外面)	-	応力腐食割れ等	-	80																																				
		(外面)					82	その他	摩耗	(異物)	1																															
								その他	-	(抜管調査)	1																															
	振止め金具		1	その他	-	(点検)	1																																			
	ホールダウンピース		2	製作不良	-	(締付け力喪失)	2																																			
	取合金物		1	製作不良	-	(取付け不良)	1																																			
復水器	伝熱管	(外面)	-	浸食	(ドレン水)	2																																				
		(内面)					10	その他	潰食	(海生物の付着)	8																															
低圧給水加熱器	伝熱管			4	製作不良	粒界腐食割れ	(残留応力)	2																																		
				4	その他	-	(受衝板脱落影響)	2																																		
受衝板		4	設計・製作不良	疲労損傷	(流動振動)	4																																				
湿分離加熱器	仕切板		2	製作不良	疲労損傷	(熱応力)	1																																			
			1	施工不良	溶接割れ	(予熱未実施)	1																																			
高圧給水加熱器	伝熱管		5	製作不良	応力腐食割れ	(外面傷)	5																																			
	受衝板		1	施工不良	疲労損傷	(振動)	1																																			
	ドレン制御		2	設計不良	-	(蒸気巻き込み)	2																																			

機器別発生実績

機 器		発生件数
1次系	蒸気発生器	86
	小計	86
2次系	復水器	10
	低圧給水加熱器	8
	高圧給水加熱器	7
	湿分分離加熱器	2
	小計	27
合計		113

部位別発生実績

部 位	発生件数
伝熱管	101
受衝板	5
振止め金具	1
ホールダウンピース	2
取合金物	1
仕切板	2
ドレン制御	1
合計	113

原因別発生実績（蒸気発生器の伝熱管除く）

原 因	発生件数
製作不良	15
設計不良	8
施工不良	2
その他	11
合計	36

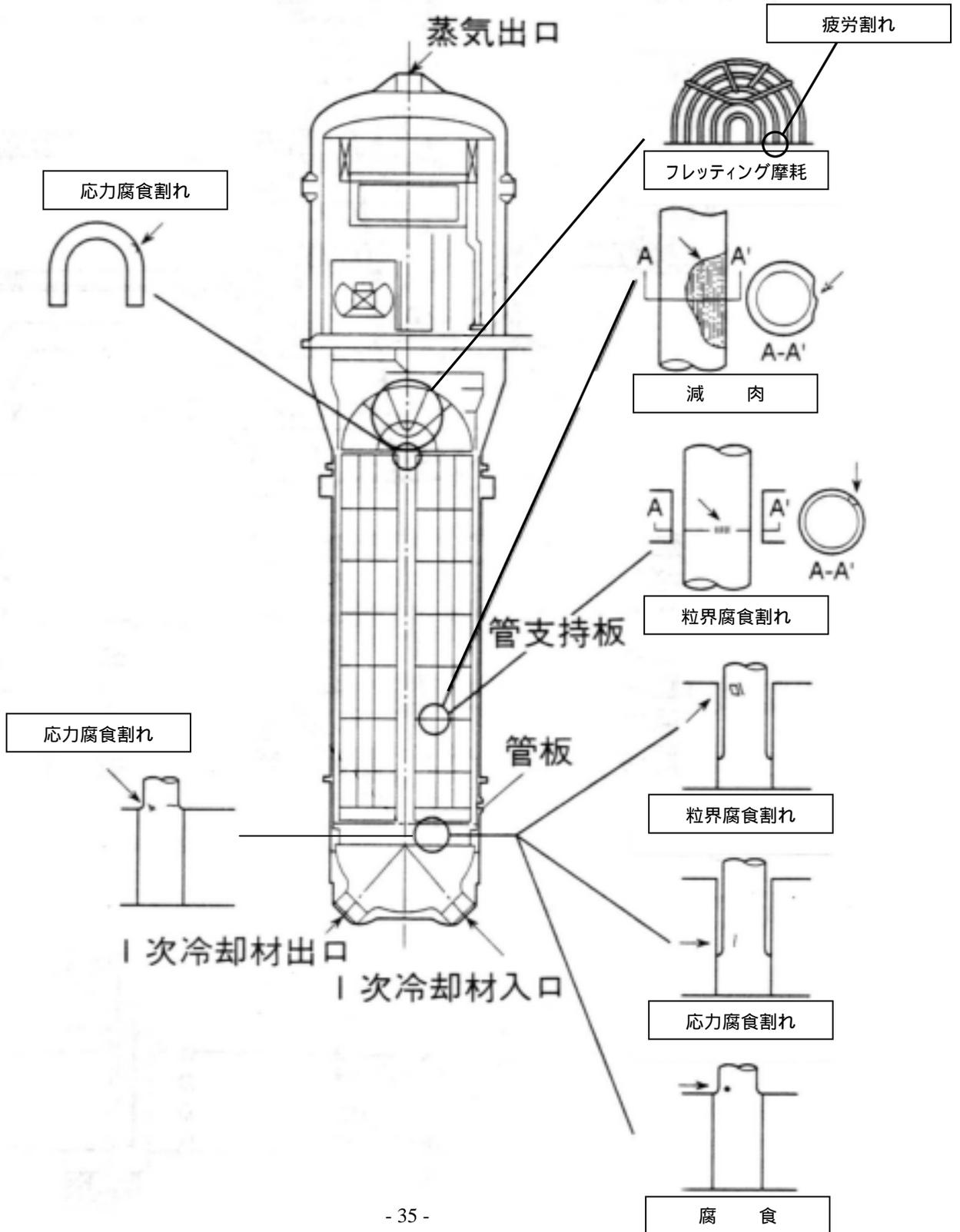
損傷モード別発生実績（蒸気発生器の伝熱管除く）

損傷モード	発生件数
潰食	8
疲労損傷	6
応力腐食割れ	5
粒界腐食割れ	2
浸食	2
溶接割れ	1
合計	24

蒸気発生器損傷モード(例)

1 次 側

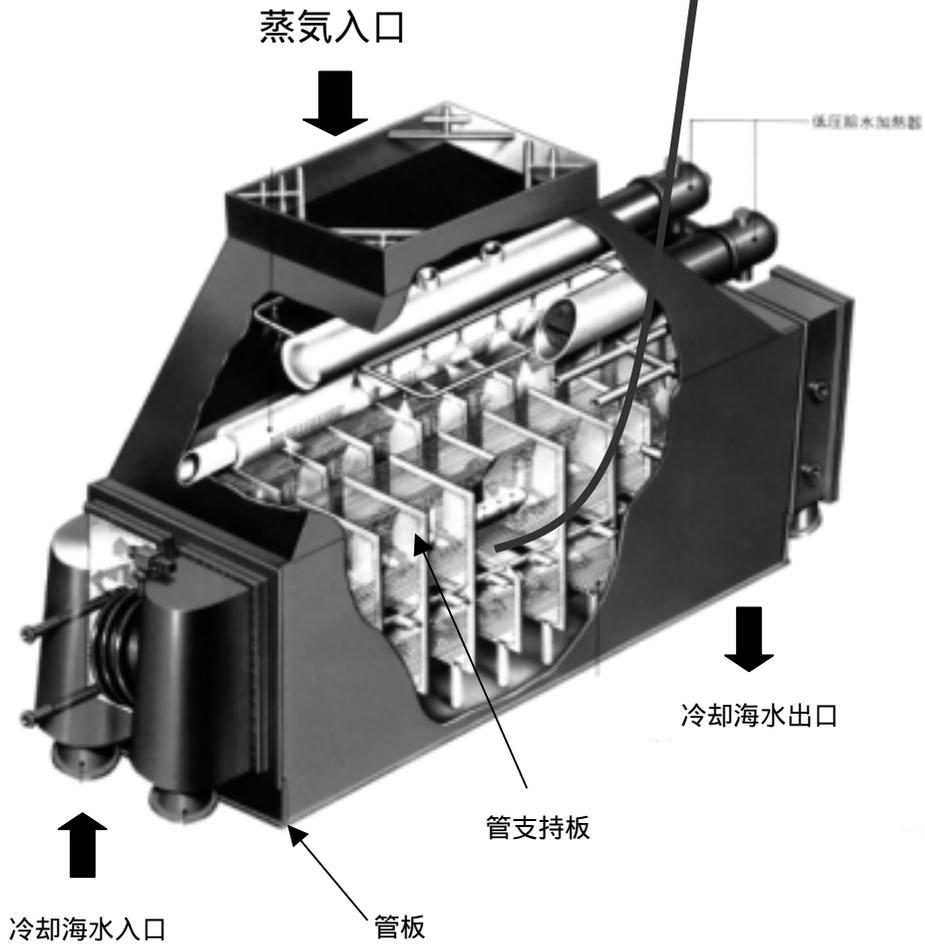
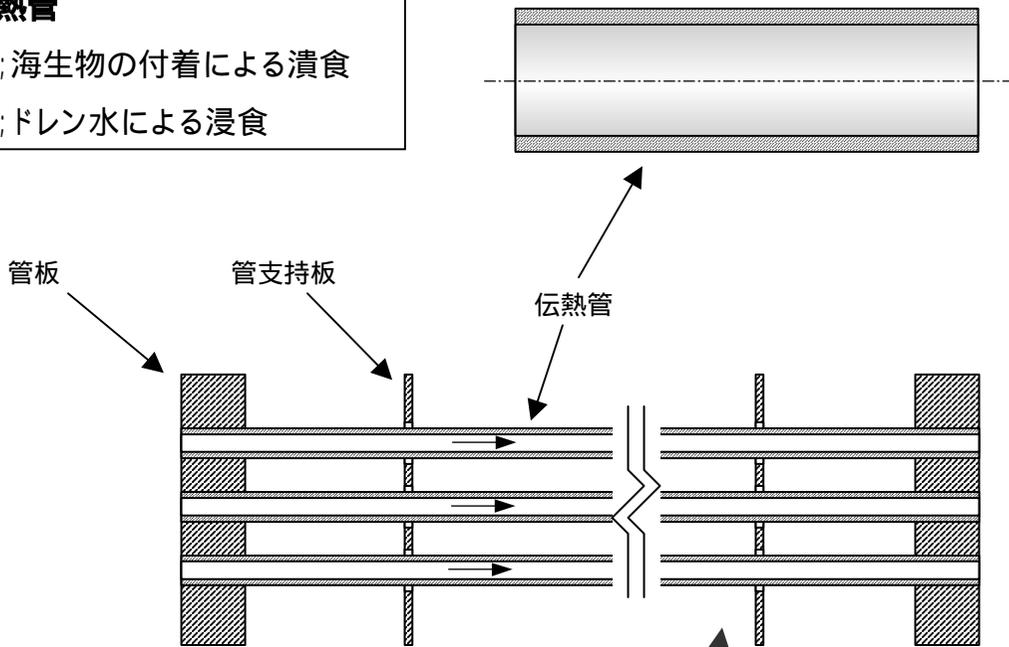
2 次 側



復水器損傷モード(例)

復水器伝熱管

内面損傷; 海生物の付着による潰食
外面損傷; ドレン水による浸食



給水加熱器損傷モード(例)

低圧給水加熱器;伝熱管

粒界腐食割れ;曲げ加工時の残留応力

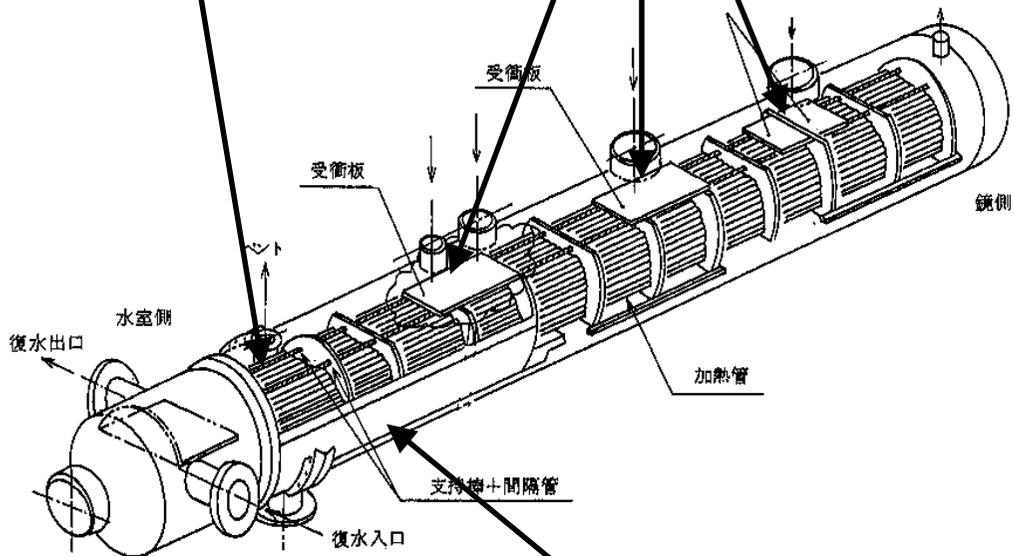
受衝板脱落影響;受衝板脱落による2次的なもの

高圧給水加熱器;伝熱管

応力腐食割れ;伝熱管外面の傷やへこみによる残留応力

高圧及び低圧給水加熱器;受衝板

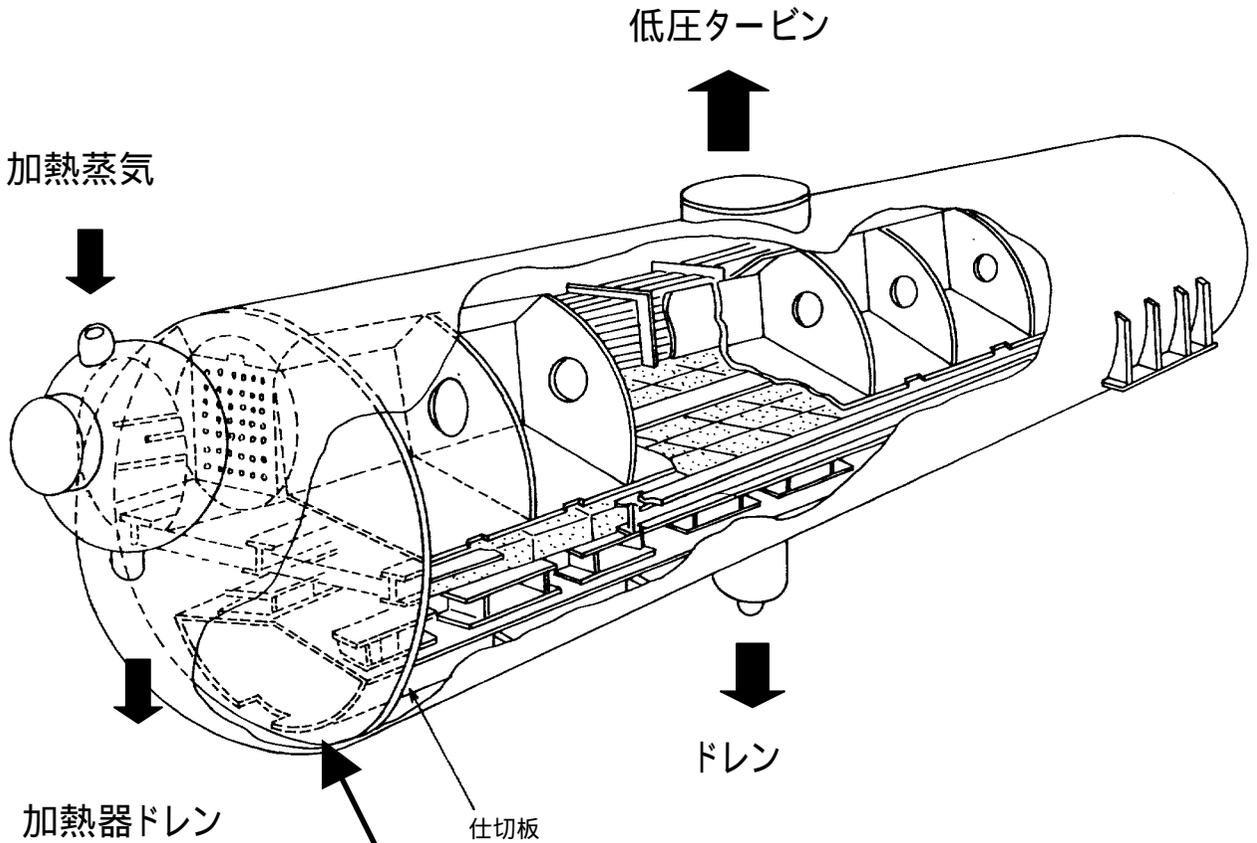
疲労損傷;ドレン及び蒸気の衝突による振動



高圧給水加熱器

ドレン制御;蒸気巻き込み

湿分分離加熱器損傷モード(例)



仕切板
疲労損傷; 滞留したドレンによる熱応力
溶接割れ; 溶接時の予熱未実施による