

ポンプ

1 機器

ポンプ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27件発生している。

機器別の内訳を見ると、1次冷却材ポンプが半数を占めている。

2 部位

部位別の内訳は、変流翼取付ボルト、シール部、主軸、ケーシングでの発生実績が過半数を占めている。

なお、変流翼は1次冷却材ポンプ特有の部品であり、他のポンプにはないものである。

3 原因

原因別の内訳は、製作不良が大半を占めているが、経年的な傾向をみると、近年では製作不良が原因となる故障や損傷は発生していない。

4 損傷モード

損傷モードの内訳は、応力腐食割れが半分を占めており、その他、侵食、腐食、低温割れが見られる。

(1) 応力腐食割れ

1次冷却材ポンプで発生している。

その原因は、変流翼取付けボルトの締付け力を主因としたものである。

(2) 部品劣化

1次冷却材ポンプと格納容器スプレイポンプで発生している。

両ポンプとも、運転に伴いシール面に面荒れが生じたものである。

(3) 疲労損傷

余熱除去ポンプおよび充てんポンプで発生している。

余熱除去ポンプについては、主軸と羽根車の接合部において過大応力が生じたため、主軸もしくは羽根車に損傷が発生したものである。

充てんポンプについては、往復動ポンプ特有の圧力脈動により、シリンダが損傷したものである。

(4) 摩耗

充てん高圧注入ポンプと復水器真空ポンプで発生している。

充てん高圧注入ポンプについては、異物混入により軸受けが摩耗したものである。

復水器真空ポンプについては、潤滑不良によりモータカップリングが摩耗したものである。

(5) 共振損傷

格納容器スプレイポンプで発生している。

シール部に混入した空気により、ポンプ吐出圧力と共振がおこったものである。

5 考察

経年的観点からみた場合、製作不良に起因する故障はなくなっている。

シール部での共振損傷については、これまで発生していなかったことから、当面の間対策の実施状況を見守る必要がある。

ポンプ (合計件数: 27)

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				
1次冷却材ポンプ	変流翼取付けボルト	8	製作不良	応力腐食割れ	(過大応力)	8																																	
		5	その他	部品劣化	(面荒れ)	3																																	
			製作不良	-	(規格はずれ)	1																																	
	1	その他	-	(他系統影響)	1																																		
	フレーム	1	保守不完全	-	(機器干渉)	1																																	
余熱除去ポンプ	羽根車	1	設計・製作不良	疲労損傷	(過大応力)	1																																	
		1	製作不良	疲労損傷	(部品片当たり)	1																																	
充てんポンプ	シリンダ	1	製作不良	疲労損傷	(圧力変動)	1																																	
充てん高圧注入ポンプ	主軸	1	製作不良	-	(製造時欠陥)	1																																	
		1	保守不完全	摩耗	(異物混入)	1																																	
格納容器スプレイポンプ	シール部	2	その他	部品劣化	(面荒れ)	1																																	
		1	設計不良	共振損傷	(空気混入)	1																																	
給水ポンプ	ケーシング	2	製作不良	-	(製造時欠陥)	2																																	
補助給水ポンプ	排気ドレントラップ	1	保守不完全	-	(ゴミ詰まり)	1																																	
循環水ポンプ	翼操作機構 (連結棒)	1	製作不良	-	(締付力不足)	1																																	
		1	製作不良	-	(製造時欠陥)	1																																	
復水器真空ポンプ	モータカップリング	1	保守不完全	摩耗	(潤滑不良)	1																																	

機器別発生実績

機 器		発生件数
1次系	1次冷却材ポンプ	14
	余熱除去ポンプ	2
	充てんポンプ	1
	充てん高圧注入ポンプ	2
	格納容器スプレイポンプ	2
	小計	21
2次系	給水ポンプ	2
	補助給水ポンプ	1
	復水器真空ポンプ	1
	循環水ポンプ	2
	小計	6
合計		27

部位別発生実績

部 位	発生件数
変流翼取付ボルト	8
シール部	7
主軸	2
ケーシング	2
軸受け	1
羽根車	1
シリンダ	1
モータカップリング	1
油冷却器	1
翼操作機構	1
排気ドレントラップ	1
フレーム	1
合計	27

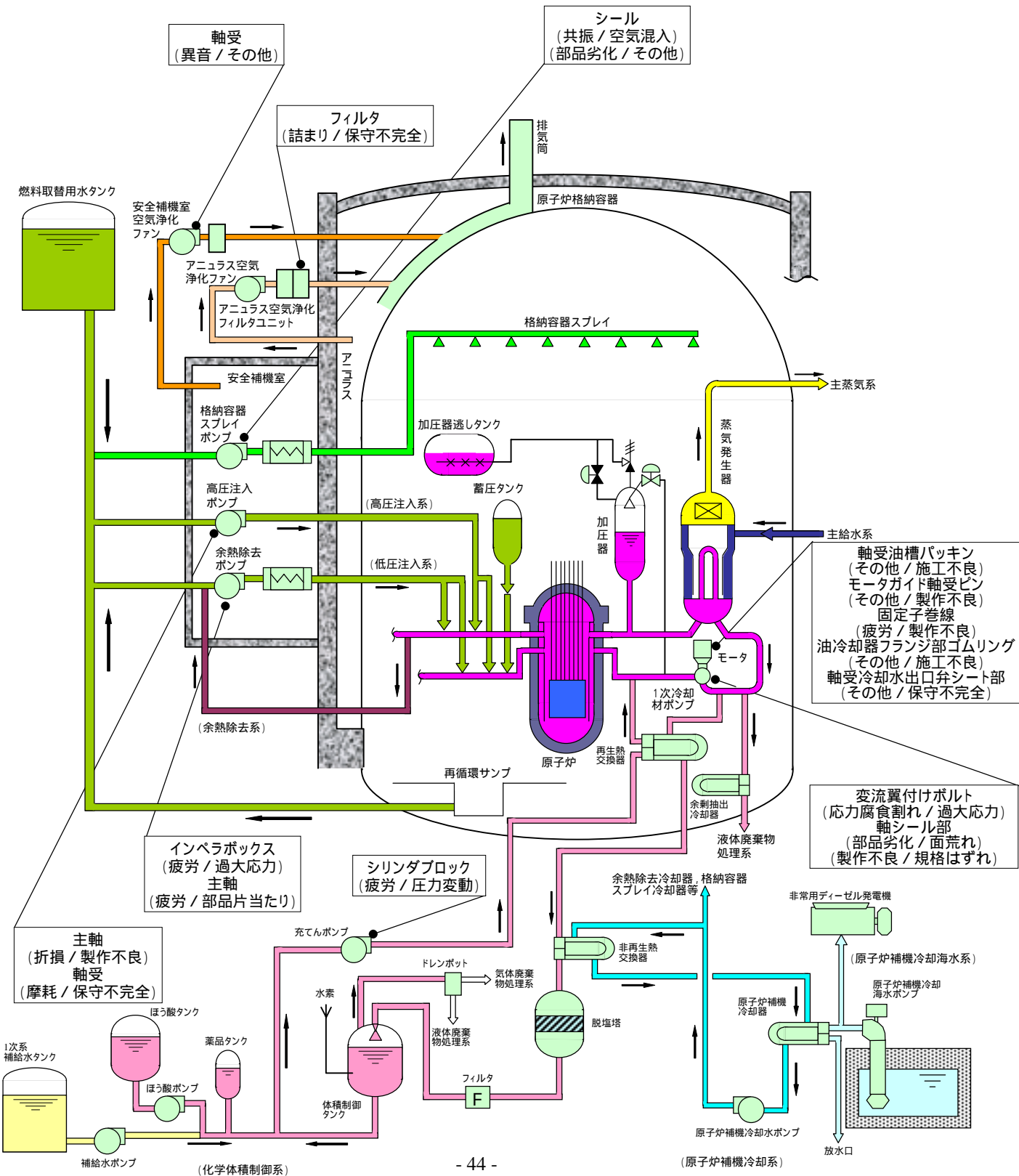
原因別発生実績（重複あり）

損傷モード	発生件数
製作不良	17
設計不良	2
保守不完全	4
その他	5
合計	28

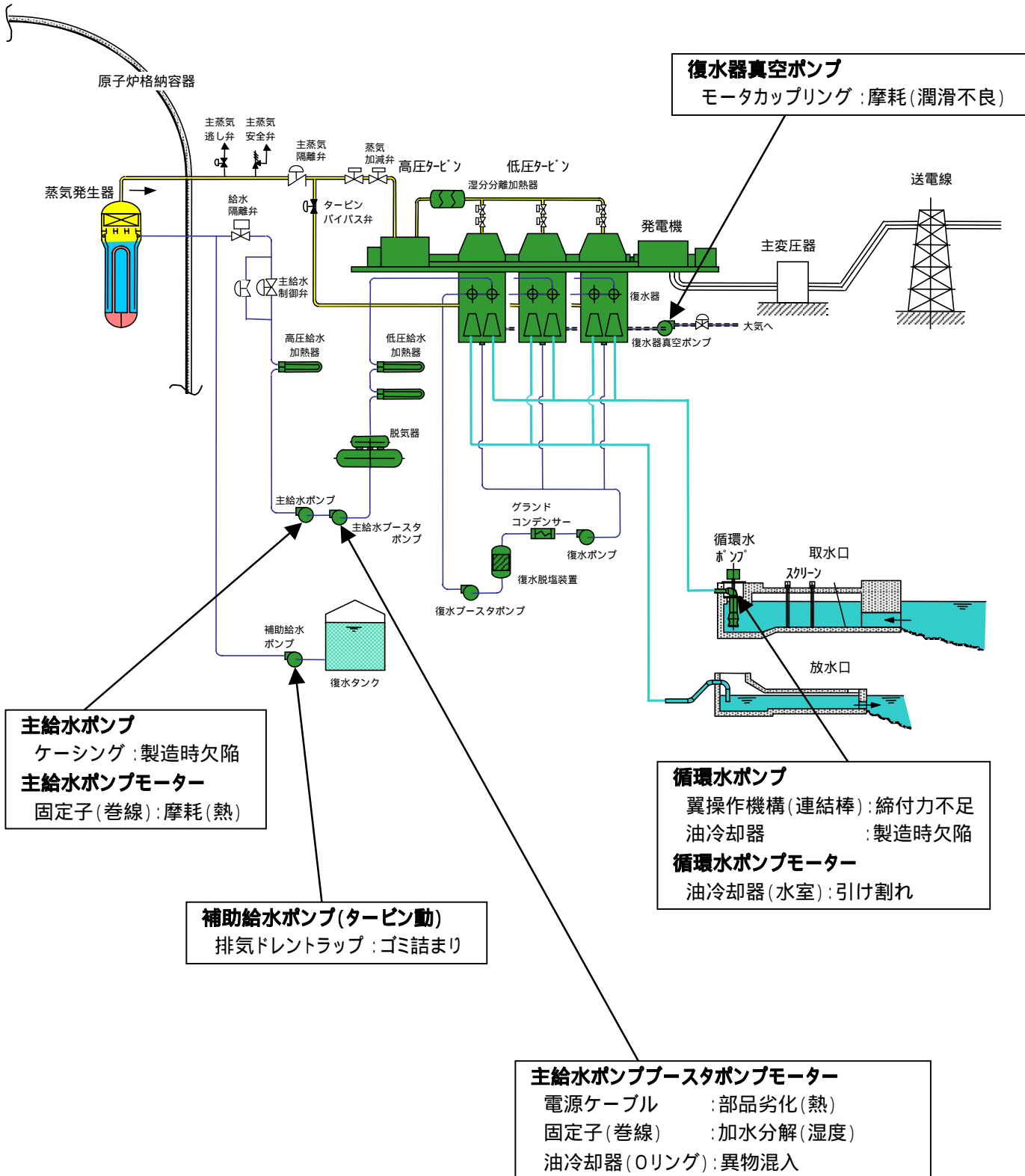
損傷モード別発生実績

損傷モード	発生件数
応力腐食割れ	8
部品劣化	4
疲労損傷	3
摩耗	2
共振損傷	1
合計	18

1次系ポンプ, ファン及びモータ損傷モード(例)



2次系ポンプ&ポンプモーター損傷モード(例)



ポンプモーター

1 機器

ポンプモーター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。

機器別の内訳を見ると、1次冷却材ポンプと主給水ブースタポンプが大半を占めている。

2 部位

部位別の内訳は、油冷却器、固定子、電源ケーブル、軸受関連となっており、特異的に故障が発生している部位は見られない。

3 原因

原因別の内訳は、製作不良、保守不完全、施工不良、設計不良がほぼ同程度であり、特異的な原因は認められない。

4 損傷モード

損傷モードの内訳は、部品劣化、疲労損傷、摩耗、加水分解である。

(1) 部品劣化

主給水ブースタポンプと非常用ディーゼル発電機プライミングポンプで発生している。

主給水ブースタポンプについては、ポンプの排熱により、電線管内の電源ケーブルが高温となり熱劣化して絶縁不良を起こしたものである。

非常用ディーゼル発電機プライミングポンプについては、電源ケーブルの圧着端子部が、定期検査時の解結線作業の繰り返しにより切断し溶断したものである。

(2) 疲労損傷

1次冷却材ポンプで発生している。

固定子コイルの口出し線と中性点リングの接続部での半田付け不良のために、運転中の振動で線が離れたものである。

(3) 摩耗

主給水ポンプで発生している。

運転中のモータの排熱により、待機中のモータの固定子コイルの絶縁と導体との間に剥離が生じ、フレティング摩耗を起こして絶縁破壊したものである。

(4) 加水分解

主給水ブースタポンプで発生している。

配管予備孔や点検孔からの高湿度蒸気の流入により、コイル素線絶縁ワニス加

水分解し、絶縁不良により短絡が発生したものである。

5 考察

損傷要因を見ると、使用環境（温度、湿度）に起因するものがほとんどであることから、使用環境の適切な把握と予防措置の実施が重要である。

ポンプモーター

(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な	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		
1次冷却材ポンプ	5 軸受油槽 (バックキ)	1 施工不良	-	(取付け不良)	1																																
	軸受 (モータガイド軸受ピン)	1 製作不良	-	(取付け不良)	1																																
	固定子 (巻線)	1 製作不良	疲労損傷	(半田付け不良)	1																																
	油冷却器 (フランジ部ゴムリング)	1 施工不良	-	(片締め)	1																																
主給水ポンプ	1 固定子 (巻線)	1 保守不完全	摩耗	(熱)	1																																
	主給水ブースタポンプ	3 電源ケーブル	1 その他	部品劣化 (熱)	1																																
主給水ブースタポンプ	固定子 (巻線)	1 設計不良	加水分解	(湿度)	1																																
	油冷却器 (Oリング)	1 保守不完全	-	(異物混入)	1																																
循環水ポンプ	1 油冷却器 (水室)	1 製作不良	-	(引け割れ)	1																																
非常用ディーゼル発電機プライミングポンプ	1 電源ケーブル (圧着端子)	1 その他	部品劣化	(繰返し応力)	1																																

機器別発生実績

機 器		発生件数
1次系	1次冷却材ポンプ	5
	小計	5
2次系	主給水ポンプ	1
	主給水ブースタポンプ	3
	循環水ポンプ	1
	小計	5
その他	非常用ディーゼル発電機 プライミングポンプ	1
	小計	1
合計		11

部位別発生実績

部 位	発生件数
油冷却器	3
固定子	3
電源ケーブル	2
軸受	1
軸受油槽	1
軸受冷却水出口弁	1
合計	11

原因別発生実績

損傷モード	発生件数
製作不良	3
保守不完全	3
施工不良	2
設計不良	1
その他	2
合計	11

損傷モード別発生実績

損傷モード	発生件数
部品劣化	2
疲労損傷	1
摩耗	1
加水分解	1
合計	5

燃料設備

1 機器

燃料設備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42件発生している。

このうち、燃料体での損傷が31件発生しており、その他、燃料内挿物、中性子源、燃料移送装置、制御棒クラスタ、制御棒駆動装置で計11件発生している。

2 部位

燃料体の被覆管での損傷が半数を占めているが、その他の部位においては特異的に損傷が発生しているところは見られない。

3 原因

原因別の内訳を見ると、その他が半数を占め、残りは設計不良と製作不良が占めている。

その他については、異物による損傷や機器取扱い時の不具合によるものがほとんどである。

4 損傷モード

(1) バッフルジェット

バッフルジェットは、バッフル板間隙からの横流れ(バッフルジェット)により燃料棒が振動し損傷を起こしたもので、昭和56年度から昭和58年度にかけて発生しているが、バッフル板の外側の流れを炉心内の冷却水の流れ方向と同じにして横流れを抑制する対策等を行った結果、発生していない。

(2) 支持格子フレットニング

支持格子フレットニングは、運転中にバッフル板コーナー部に配置された燃料の被覆管と支持格子が振動しフレットニング摩耗を起こしたもので、昭和60年度から昭和63年度にかけて発生した。支持格子形状の改良等を行った結果、発生していない。

(3) 異物フレットニング

異物フレットニングは、原子炉冷却水中に混入した異物が被覆管とフレットニング摩耗を起こしたものである。

(4) 外面水素化

外面水素化は、燃料集合体組立工程の燃料棒組み込み時の不具合により運転中に被覆管外面に水素が吸収されたもので、平成元年度と2年度に発生した。燃料棒の組み込み方法の変更を行った結果、発生していない。

(5) ピンホール

燃料集合体の被覆管に、運転中に微少な孔が生じたものである。

(6) 応力腐食割れ

スプリングスクリーューおよびリーフスプリングで損傷が起きている。

スプリングスクリーューについては、燃料集合体の組立て時に、過度な締め付けを行ったために高い応力が残存したものである。昭和60年度に発生しているが、超音波検査による締め付け管理を行うこと等により、発生していない。

リーフスプリングについては、加工時の表面加工の粗さと材質不良が重なったことによるものと、組立て時に板バネが干渉状態で取り付けられたことによるものが発生している。いずれもリーフスプリング加工方法や寸法の見直し等が行われており、新規製造される燃料については対策が反映されている。

(7) 疲労損傷

燃料内挿物のホールダウンスプリングで発生している。

疲労損傷は、コイルスプリングに表面傷があり、スプリング同士の干渉による応力が加わった状態で、流動振動による疲労破壊が起こったもので、昭和55年度に発生している。なお、この損傷は、大飯1・2号機で採用している樽型ばねの構造に起因したもので、他のプラントで採用しているストレートばねでの損傷実績はない。また、樽型ばねについては改良型のばねに変更した後、損傷は発生していない。

(8) 摩耗

制御棒で発生している。

摩耗は、流体振動によりクラスタ案内管と制御棒が干渉して発生したものである。計画的な取替えを行うことにより、損傷は発生していない。

(9) 塑性変形

制御棒駆動装置の駆動軸で発生している。

原子炉容器取替えに伴い駆動軸を新品に取り替えた際、製造時に熱処理を行わなかったために強度不足が生じ、原子炉への組み込み時に変形が発生したものである。

5 考察

近年、燃料体と制御棒駆動装置以外の機器では損傷は起きていない。

なお、制御棒駆動装置の損傷は、原子炉容器上蓋取替えに伴い当該品を新品に取り替えた際に製作不良や保守不完全により発生したものであることから、機器特有の損傷という観点で見た場合には、燃料体でのみ損傷が起きている。

燃料被覆管については、種々の対策により損傷発生頻度は下がっているが、ピンホールや異物フレッシングについては、その発生防止のために品質管理等の強化が不可欠なものであることから、今後も継続的な取組みが必要である。

また、燃料交換等の作業における支持格子の損傷等が、近年も引き続いて起きていることから、品質管理、作業管理の強化に継続的に取り組む必要がある。

燃料設備 (合計件数: 42)

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	
燃料体	31 被覆管	20 その他	バブルジェット	(バブル隙間横流れ)	5																															
		設計不良	支持格子フレティング	(流体振動)	4																															
		その他	異物フレティング	(異物混入)	4																															
		製作不良	外面水素化	(組込み時不良)	2																															
		その他	ピンホール		4																															
		その他	-	(異物かみこみ)	1																															
	支持格子	6	その他	-	(燃料交換時の干渉)	5																														
	その他	-	(燃料検査時の干渉)	1																																
	スプリングスクリュー	1	製作不良	応力腐食割れ	(締付け応力)	1																														
	リーフスプリング	3	製作不良	応力腐食割れ	(表面粗さ、材質不良)	2																														
		設計不良	応力腐食割れ	(干渉による応力)	1																															
		1	その他	-	(燃料交換機との干渉)	1																														
燃料内挿物	3	ホルダウンスプリング	3	設計・製作不良	疲労損傷	(流動振動)	3																													
中性子源	1		1	設計不良	-	(燃料交換時の干渉)	1																													
燃料取扱装置	1	燃料移送装置	1	施工不良	-	(過負荷停止)	1																													
制御棒クラス	4	制御棒取付ベーン	1	その他	-	(異物との干渉)	1																													
			3	その他	-	(異物との干渉)	1																													
			その他	摩耗	(流体振動)	1																														
			その他	-	(点検時の落下)	1																														
制御棒駆動装置	2	駆動軸	1	製作不良	塑性変形	(熱処理忘れ)	1																													
		ラッチアセンブリ	1	保守不完全	-	(錆の発生)	1																													

機器別発生実績

機 器	発生件数
燃料体	3 1
燃料内挿物	3
中性子源	1
燃料移送装置	1
制御棒クラスタ	4
制御棒駆動装置	2
合計	4 2

部位別発生実績

部 位	発生件数
被覆管	2 0
支持格子	6
スプリングスクリュー	1
リーフスプリング	3
ホールダウンスプリング	3
制御棒取付ベーン	1
制御棒	3
駆動軸	1
ラッチアセンブリ	1
その他	2
合計	4 1

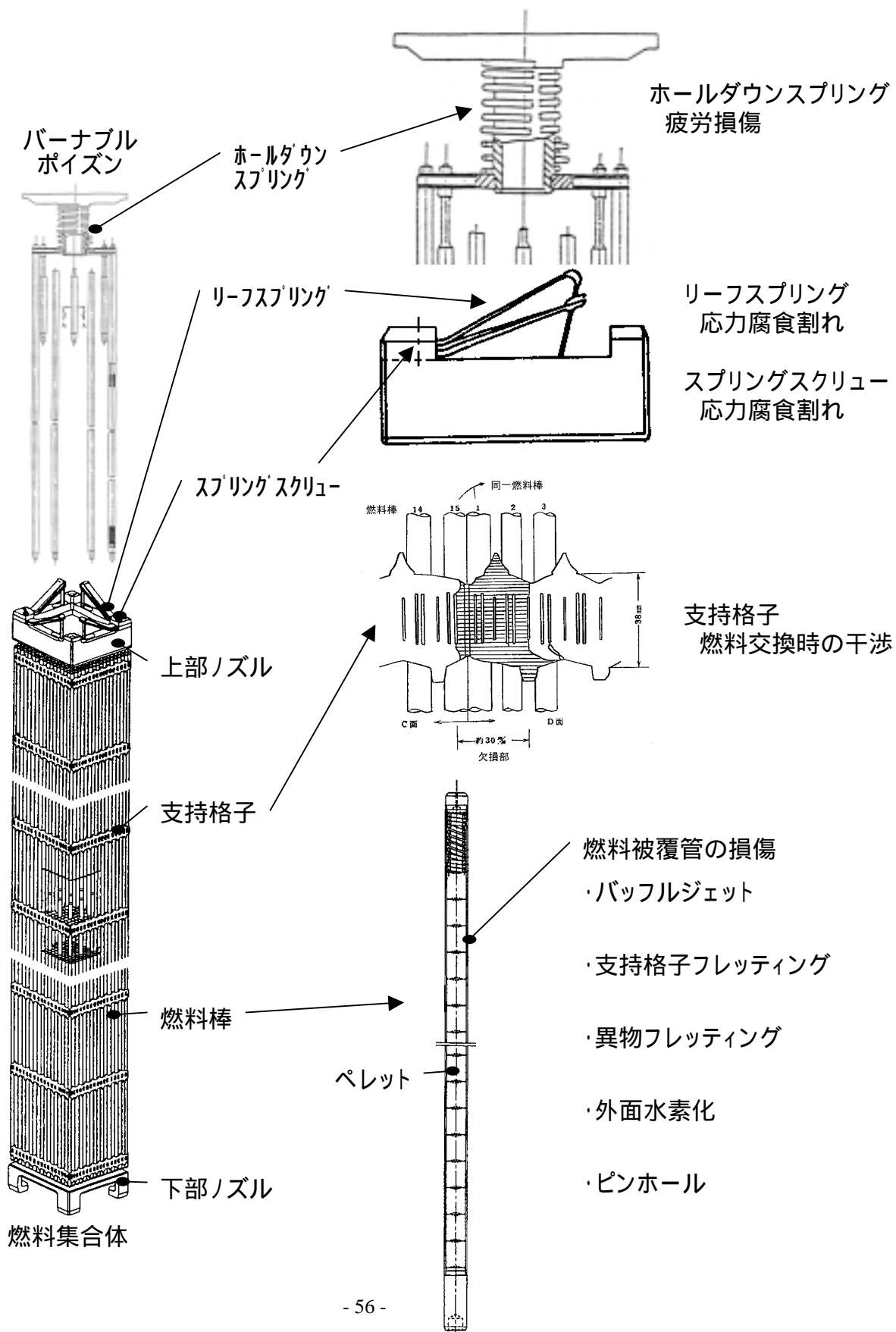
原因別発生実績（重複あり）

損傷モード	発生件数
製作不良	9
設計不良	9
施工不良	1
保守不完全	1
その他	2 5
合計	4 5

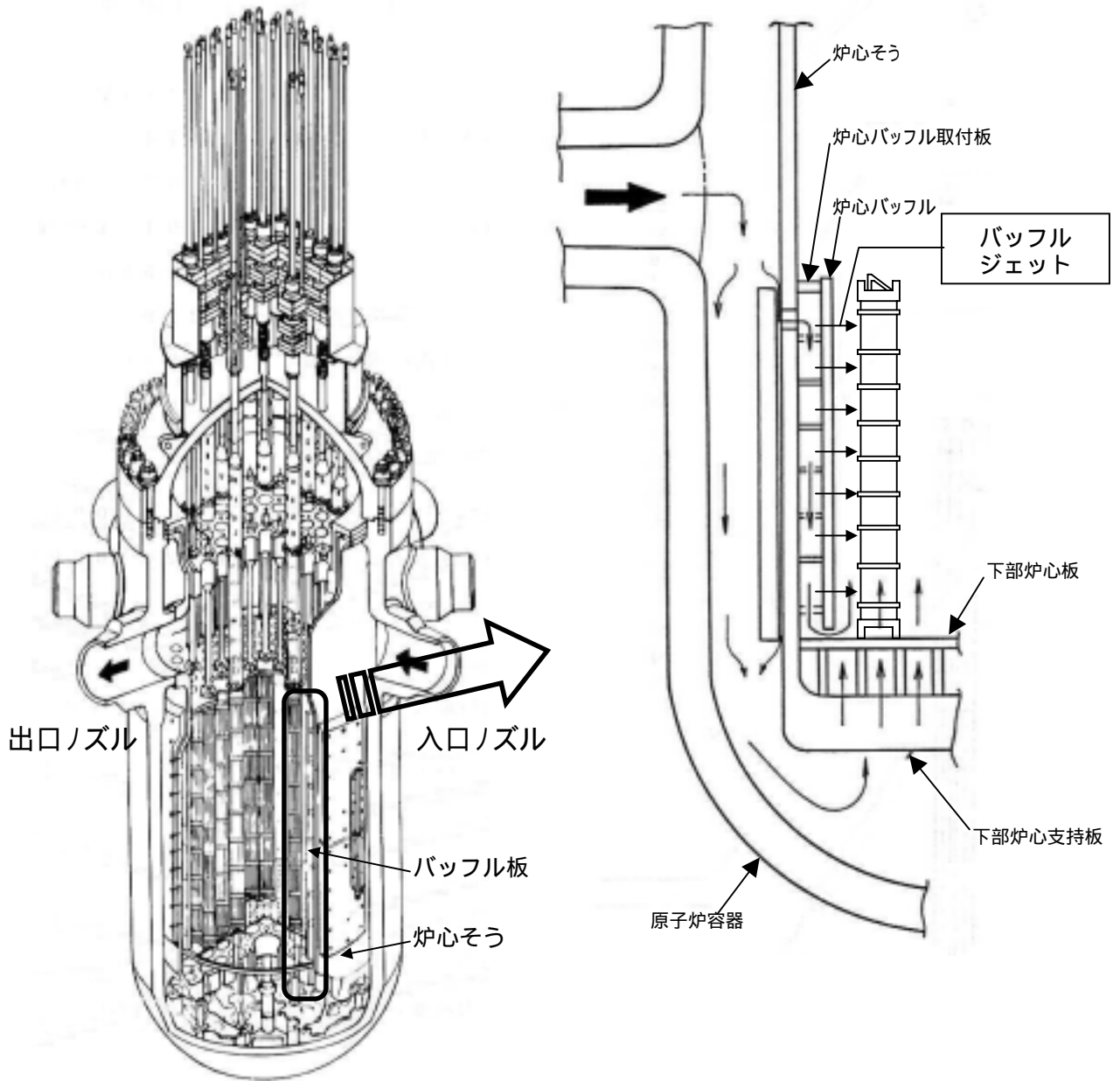
損傷モード別発生実績

損傷モード	発生件数
バッフルジェット	5
支持格子フレッキング	4
異物フレッキング	4
外面水素化	2
ピンホール	4
応力腐食割れ	4
疲労損傷	3
摩耗	1
塑性変形	1
合計	28

燃料及び燃料内挿物損傷モード(例)

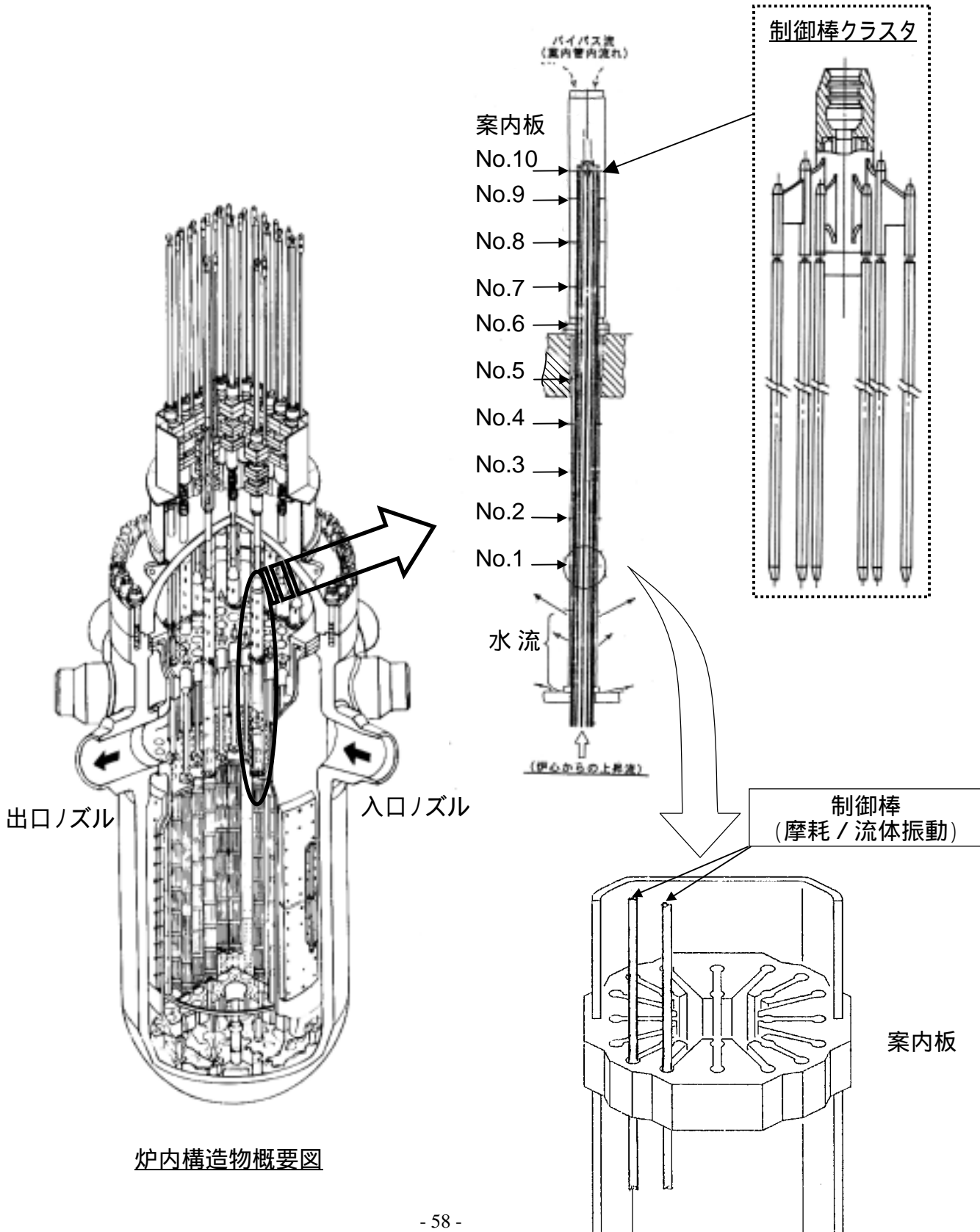


燃料設備損傷モード(例)



炉内構造物概要図

制御棒損傷モード(例)



タービン設備

1 機器

タービン設備の損傷や故障に起因した事故・故障は、平成12年度末現在において9件発生している。

機器別の内訳を見ると、高圧タービン、低圧タービン、軸受油系、タービン保安装置がほぼ同程度である。

2 部位

動翼の損傷が3件発生しているものを除いては、集中して損傷が発生している部位は見られない。

3 原因

設計不良が若干多く、製作不良、保守不完全、施工不良がほぼ同程度である。

なお、経年的傾向を見た場合、近年は設計不良や製作不良に起因する損傷は起きていない。

4 損傷モード

(1) 疲労損傷

低圧タービンと軸受油系で発生している。

低圧タービンについては、運転時に動翼が共振して、翼本体もしくは溶接部で損傷を起こしたものである。

軸受油系については、主油タンク内の配管支持金具の破損により、流体振動が配管に伝わり、配管溶接部が疲労損傷したものである。

(2) 腐食割れ

高圧タービンで発生している。

翼間締付けボルトにおいて、腐食割れ感受性に加え、建設時に使用したねじ潤滑剤の中の有害成分が作用して、運転時の環境中で腐食が進行したものである。

5 考察

近年、タービン本体での損傷は見られていないが、軸受油系で異物の詰まりやOリングの取り付け不良が起きていることから、異物管理や作業管理について、継続して充実・強化を図る必要がある。

機器別発生実績

機 器	発生件数
高圧タービン	2
低圧タービン	3
軸受油系	3
保安装置	1
合計	9

部位別発生実績

部 位	発生件数
バランスホール	1
翼間締付けボルト	1
動翼	3
給油弁	1
配管フランジ部	1
エゼクタポンプ	1
圧力スイッチ	1
合計	9

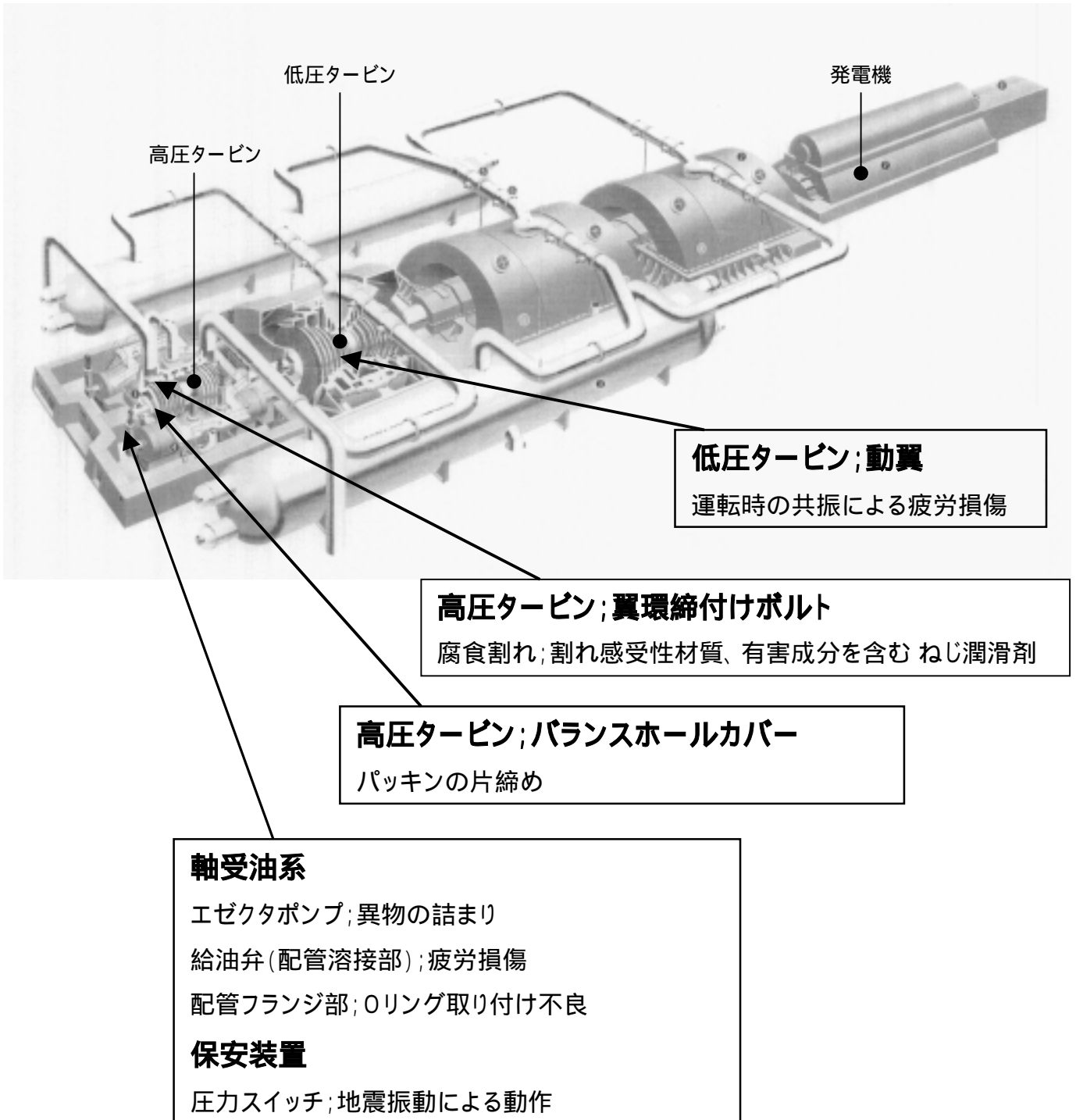
原因別発生実績

損傷モード	発生件数
設計不良	4
製作不良	2
保守不完全	2
施工不良	1
合計	9

損傷モード別発生実績

損傷モード	発生件数
疲労損傷	4
腐食割れ	1
合計	5

タービン損傷モード(例)



軸受油系

エゼクタポンプ; 異物の詰まり
給油弁(配管溶接部); 疲労損傷
配管フランジ部; Oリング取り付け不良

保安装置

圧力スイッチ; 地震振動による動作