

原子力発第09258号
平成22年 3月 9日

愛媛県知事
加戸守行 殿

四国電力株式会社
取締役社長 千葉 昭

伊方発電所第3号機 第2 低圧給水加熱器 3 B 入口抽気温度計の指示不良
他5件に係る報告書の提出について

平成20年12月24日に発生しました伊方発電所第3号機 第2 低圧給水加熱器
3 B 入口抽気温度計の指示不良他5件につきまして、その後の調査結果がまと
まりましたので、安全協定第11条第2項に基づき、別添のとおり報告いたします。

今後とも伊方発電所の安全・安定運転に取り組んでまいりますので、ご指導賜
りますようお願い申し上げます。

以 上

伊方発電所第3号機
低圧タービン蒸気転向装置固定用ボルト
廻り止め割りピンの欠損について

平成22年3月
四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所第3号機 低圧タービン蒸気転向装置固定用ボルト廻り止め割りピンの欠損について

2. 事象発生の日時

平成22年 1月 13日 13時10分（確認）

3. 事象発生の設備

低圧タービン（低圧第1、第2タービン）

4. 事象発生時の運転状況

第12回定期検査中

5. 事象発生の状況

伊方発電所第3号機（定格電気出力890MW）は、第12回定期検査において低圧タービンの開放点検を実施していたところ、低圧第2タービン蒸気転向装置^{※1}を固定するボルトの廻り止め割りピン^{※2}が欠損していることを保修員が確認した。

当該割りピンは低圧タービン1基あたり2本あり、低圧第1、第2タービンとも、2本のうち1本が欠損していた。また、低圧第1タービンの残り1本の割りピンは、取り外し時に折損した。

欠損した割りピン2本のうち、低圧第1タービンの1本は摩耗減肉分以外はすべて回収し、低圧第2タービンの1本は約70%回収した。

回収した低圧第2タービンの割りピンは、タービン羽根等との接触により細分化されており、未回収部分も細分化され、定期検査時の系統水の排水によって系統外に排出されたものと考えるが、万一、未回収部分が系統内に留まっていたとしても、タービンの下流機器への影響がないことを確認した。

また、低圧第1、第2タービンの羽根等の外観目視点検および割りピンとの接触跡の浸透探傷検査（以下「PT検査」という。）を実施し、異常のないことを確認した。

当該部の廻り止めについては、取り付け時のガタ等による摩耗、折損を防止するため、割りピンからテーパー形状のピン（ナット付き＋溶接止め）に変更し復旧した。

なお、本事象による環境への放射能の影響はなかった。

※1：低圧タービンの入口蒸気の流れを分配する装置

※2：ボルトに取り付けているナットの廻り止め割りピン

（添付資料－1～3）

6. 事象の時系列

1月13日

13時10分 低圧第2タービン蒸気転向装置の割りピン1本が欠損していることを確認し、一部のみ発見・回収
(低圧第1タービン蒸気転向装置の割りピン1本についても一部欠損していたが、全て回収済み)

1月13, 14日 低圧第1タービン静翼、動翼の目視点検および欠損した割りピンとの接触跡についてPT検査を実施

1月18日 低圧第2タービンの第1段動翼シールフィン部(発電機側(以下「GEN側」という。))等の10箇所より、細分化された割りピンの欠損品を発見
合計で約70%(新品との重量比)を回収

1月19, 20日 低圧第2タービン静翼、動翼の目視点検および欠損した割りピンとの接触跡についてPT検査を実施

1月28日 低圧第1, 2タービンの蒸気転向装置固定用ボルト廻り止めテーパピン取り付け、ナット溶接

7. 調査結果

蒸気転向装置固定用ボルト廻り止め割りピンの欠損原因について、以下の調査を実施した。

(1) 現地調査

a. 割りピンの欠損状況および回収状況

(a) 低圧第1タービン山側

割りピンは全てナットに取り付いた状態で、ナットから取り外す際に2箇所折損したが、摩耗減肉分以外は全て回収した。

回収した割りピンの合計重量は9.33gであり、新品の割りピン(重量約11.08g)と比較すると約16%が摩耗減肉により減少していた。

(b) 低圧第1タービン海側

割りピンの一部に欠損が見られたが、欠損品は第1段動翼シールフィン部(高圧タービン側(以下「GOV側」という。))で発見し、摩耗減肉分以外は全て回収した。

発見・回収した割りピンの合計重量は9.60gであり、新品の割りピン(重量約11.08g)と比較すると約13%が摩耗減肉により減少していた。

なお、ナットに残っていた部分の割りピンは、ナットより取り外す際に1箇所折損した。

(c) 低圧第2タービン山側

割りピンの全てが欠損しており、低圧第2タービン（GEN側）で、細分化された欠損品を発見・回収した。

回収した欠損品のうち1gを超える比較的大きいものは、第1段動翼までに発見され、第2段静翼を越えて発見された欠損品は0.1g以下の微細な状態となっていた。

また、発見・回収した割りピンの合計重量は7.78gであり、新品の割りピン（重量約11.08g）と比較すると約70%であり、約30%（3.30g相当）が未回収となった

(d) 低圧第2タービン海側

割りピンは全てナットに取り付いた状態で欠損は見られず、全て回収した。

回収した割りピンの合計重量は10.85gであり、新品重量（約11.08g）と比較すると約2%の軽微な差であった。

（添付資料－3，4）

b. 蒸気転向装置固定用ボルト・ナットの調査

低圧第1、2タービンの蒸気転向装置固定用ボルト、ナット（計4組）について、外観目視確認を行った結果、変形、ネジ部摩耗、割りピン挿入穴摩耗および割りピン欠損に伴う損傷等の異常は見られなかった。

また、割りピン欠損箇所においても、ボルトとナットの割りピン挿入穴にズレは見られなかった。

c. 低圧タービン羽根等の調査

(a) 低圧第1タービン

低圧第1タービン静翼、動翼の全ての翼面等について目視点検を行った結果、割りピン欠損品と接触した跡が、GOV側の第1段静翼出口側に11箇所、第1段動翼入口側に5箇所確認された。

その他の翼等には、欠損品が接触した跡は確認されなかった。

また、静翼、動翼の割りピン欠損品と接触した跡については、手入れを行うとともに、PT検査を行い、割れ等の異常のないことを確認した。

(b) 低圧第2タービン

低圧第2タービン静翼、動翼の全ての翼面等について目視点検を行った結果、割りピン欠損品と接触した跡が、GEN側の第1段静翼入口側に1箇所、第1段静翼出口側に21箇所、第1段動翼の入口側に26箇所確認された。

その他の翼等には、欠損品が接触した跡は確認されなかった。

また、静翼、動翼の割りピン欠損品と接触した跡については、手入れを行うとともに、PT検査を行い、割れ等の異常のないことを確認した。

（添付資料－5）

(2) 回収した割りピンの詳細調査

低圧第1タービン海側の割りピンを代表として、割りピンの破面等について詳細調査を行った結果、破面は比較的滑らかで押しつぶされた摩耗の様相を示しており、ナットの割りピン挿入穴端部、ボルトとナットの境界部に対応する箇所が摩耗減肉していた。

また、寸法計測および割りピンの曲げの状況とナット寸法との照合を行った結果、割りピンは若干浅めの挿入状態であった可能性が高い。

(添付資料-6)

(3) 保守状況の調査

当該割りピンの保守状況を確認した結果は以下のとおりであった。

(添付資料-7)

- a. 当該割りピンは、低圧タービンの分解点検時(1回/2定検)には、新品に取り替えて復旧を行い、分解点検を行わない場合は、割りピンの外観目視点検により異常のないことを確認して、そのまま継続使用していた。

また、前回の第11回定期検査時(平成20年9月~11月)には、割りピンをナットに沿って曲げてナットを抱えるように取り付けを行うことで割りピンのガタを少なくするため、低圧第1、第2タービンとも割りピンの長さを変更(50mm→80mm)して取替えていた。

- b. 第1回(平成8年1月~4月)および第2回(平成9年5月~7月)定期検査において、割りピンの欠損事象が確認されており、その対策として、第2回定期検査時にナットの割りピン挿入穴端部の面取り(0.5mm程度のR加工)を行っていた。

第3回定期検査以降は、欠損事象はないが、作業員への聞き取りの結果、ナットの割りピン挿入穴端部、ボルトとナットの境界部に対応する箇所に摩耗減肉が見られ、割りピンを取り外す際に折損した事象も確認されていた。

- c. 作業員への聞き取りの結果、割りピン取り付け時の曲げ加工は工具(ペンチ)を用いて行っているが、割りピンの剛性等により、割りピンをナットに沿って曲げて割りピンのガタをなくすことは容易ではないことが確認された。

なお、作業要領書には、割りピンにガタが生じないように取り付ける旨の記載はなかった。

(4) 運転状況の調査

第11回定期検査以降のタービン軸振動等の運転データを確認した結果、異常は認められなかった。

8. 未回収の割りピン欠損品の影響による下流機器の健全性調査

(1) 未回収の割りピン欠損品の状態について

回収された欠損品のうち1gを超える比較的大きいものは、第1段動翼までに発見され、第2段静翼を越えて発見された欠損品は0.1g以下の微細な状態であった。

また、第1段動翼下流部で、比較的大きい欠損品(5mm×17mm、0.9157g)が回収されているが、第1段動翼とシールフィンの隙間は約1.6mm～2.4mmと狭いこと、および作業員への聞き取りから、これは第1段動翼のシールフィン部に引っかかっていた欠損品が、ローター吊り出しにより落下して、第1段動翼下流部の位置に落ちた可能性が高いと考えられる。

以上のことから、低圧第2タービンで回収できなかった欠損品(総重量3g程度)は、0.1g以下の微細な粒状または粉状の状態になっていると考えられ、そのほとんどは定検時の系統水のブロー等によって、系統外に排出されたと考えられる。

なお、欠損品が流れる経路の以下の機器について、開放点検を実施した結果、欠損品は発見されなかった。

- ・第1抽気管内(低圧タービン～第1低圧給水加熱器入口まで)
- ・第2抽気管内(低圧タービン～第2低圧給水加熱器入口まで)
- ・第3抽気管内(低圧タービン～第3抽気逆止弁まで)
- ・第4抽気管内(低圧タービン～第4抽気逆止弁まで)
- ・復水器内
- ・復水ポンプ入口ストレーナ
- ・給水ブースタポンプ入口ストレーナ

(添付資料-4, 8)

(2) 欠損品の影響による下流機器の健全性調査

低圧第2タービンで回収できなかった欠損品は、0.1g以下の微細な粒状または粉状の状態になっていると考えられるため、下流機器に影響を与えることはないものと考えられるが、欠損品が流れていく経路にあり、狭い隙間のある回転機器(復水ポンプ、低圧給水加熱器ドレンポンプ)および静的機器のうち比較的小さい薄肉である熱交換器(復水器、低圧給水加熱器)の伝熱管について、以下の調査を行い、異常のないことを確認した。

- a. 復水器については、細管外周について目視点検を行い、異常のないことを確認した。
- b. 低圧給水加熱器については、水圧試験により伝熱管からの漏洩がないことを確認した。

また、回収できなかった欠損品の総重量(3g程度)に相当する欠損品が伝熱管に衝突したとしても、伝熱管に発生する応力は 10.0N/mm^2 であり、伝熱管の材料の降伏応力 134.2N/mm^2 を十分下回っていることから、伝熱管の健全性に影

響を与えることはない。

- c. ポンプ（復水ポンプ、低圧給水加熱器ドレンポンプ）については、前サイクルの運転中の振動測定データより、異常のないことを確認した。

また、定検時のポンプ試運転の際に、振動等の異常のないことを再確認した。
(添付資料－ 8)

9. 推定原因

割りピンが損傷した原因は、前回定期検査時の割りピン取り付け作業において、割りピンの取り付けが不十分（割りピンがピン穴に対して若干浅めの挿入状態）であったことから、割りピンの長手方向のガタが通常よりも大きい状態となった。

このため、運転中の蒸気流による流体振動等の影響により、割りピンが長手方向および周方向に微小振動するとともに、ナットが回転方向にも微小振動することにより、ナットの割りピン挿入穴端部とボルト・ナット境界部のピン穴との摺動により割りピンが摩耗減肉して、割りピンの損傷に至ったものと推定される。

(添付資料－ 9)

10. 対策

- (1) 割りピンによる廻り止めから、取り付け方によるガタが生じることのないテーパーピン（ナット付）による廻り止めに変更した。

なお、テーパーピンの抜け止めとして、テーパーピンにナットを取り付けて溶接を行った。

(添付資料－ 10)

- (2) 念のため、定期検査時毎にテーパーピンにゆるみ等の異常のないことを確認する。

11. 1、2号機の状況

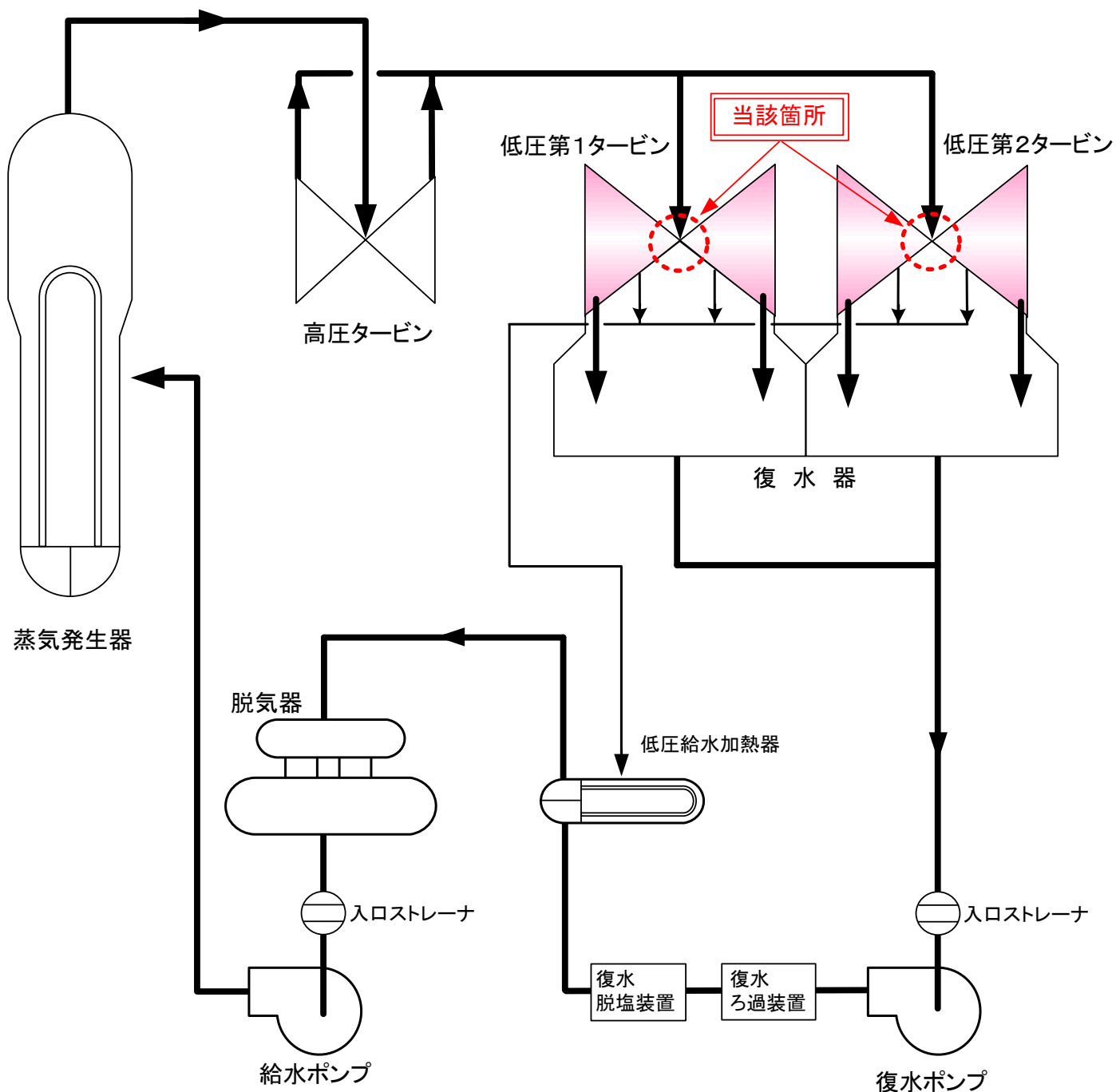
伊方1、2号機低圧タービン蒸気転向装置固定部は、これまでに廻り止め割りピンに摩耗減肉等の異常は認められていないが、3号機と同様の構造となっていることから、次回の低圧タービン開放点検時（1号機第29回定検、2号機第23回定検）に同様の対策を行う。

以 上

添 付 資 料

- 添付資料－ 1 伊方 3 号機 2 次系系統概略図
- 添付資料－ 2 蒸気転向装置廻り概略図
- 添付資料－ 3 廻り止め割りピンの状況
- 添付資料－ 4 低圧第 2 タービン（山側）廻り止め割りピン回収状況
- 添付資料－ 5 低圧タービン羽根の廻り止め割りピンとの接触跡 概略位置図
- 添付資料－ 6 全て回収された廻り止め割りピンの摩耗減肉状況
- 添付資料－ 7 低圧タービン蒸気転向装置割りピン点検状況
- 添付資料－ 8 低圧第 2 タービン廻り止め割りピン欠損品の調査および影響評価
- 添付資料－ 9 廻り止め割りピン損傷のメカニズム
- 添付資料－ 1 0 テーパーピン取付状況図

伊方3号機 2次系系統概略図

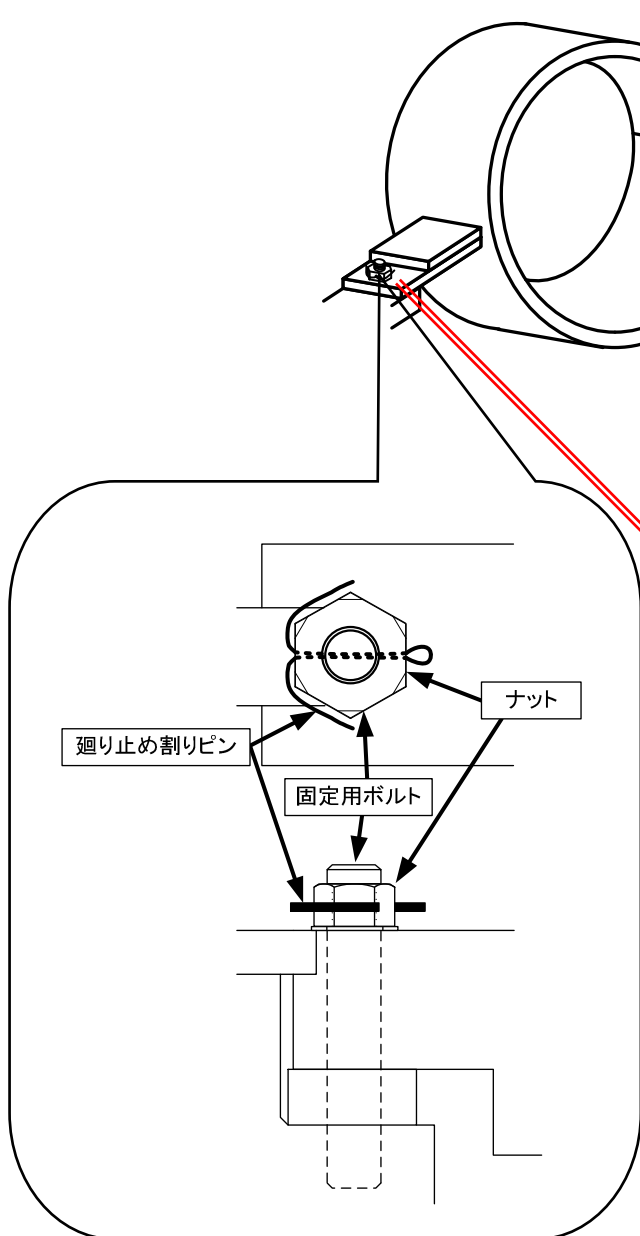
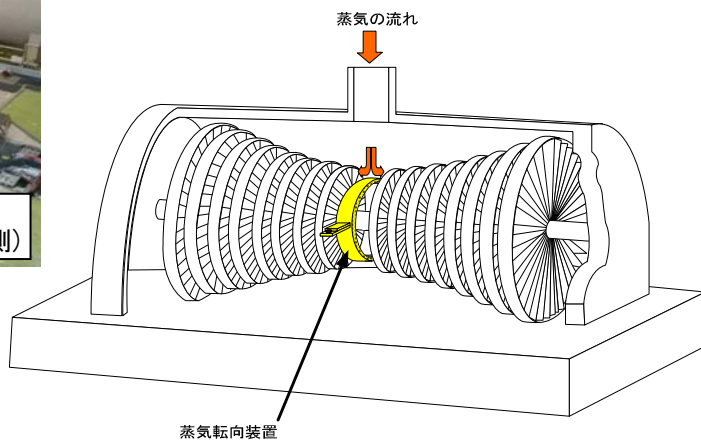


蒸気転向装置廻り概略図

低圧第2タービンの全景



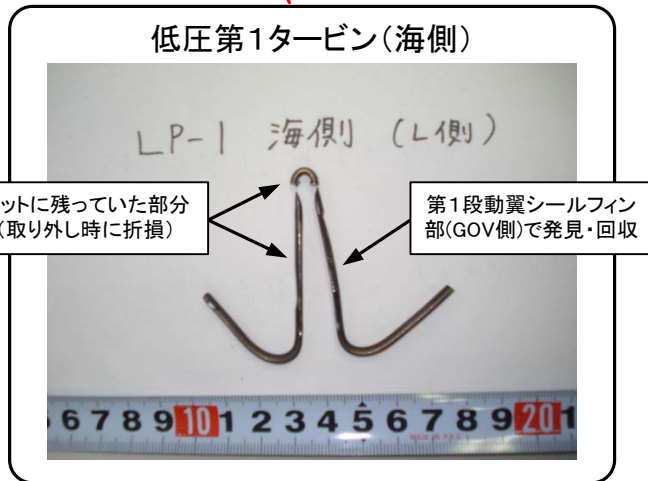
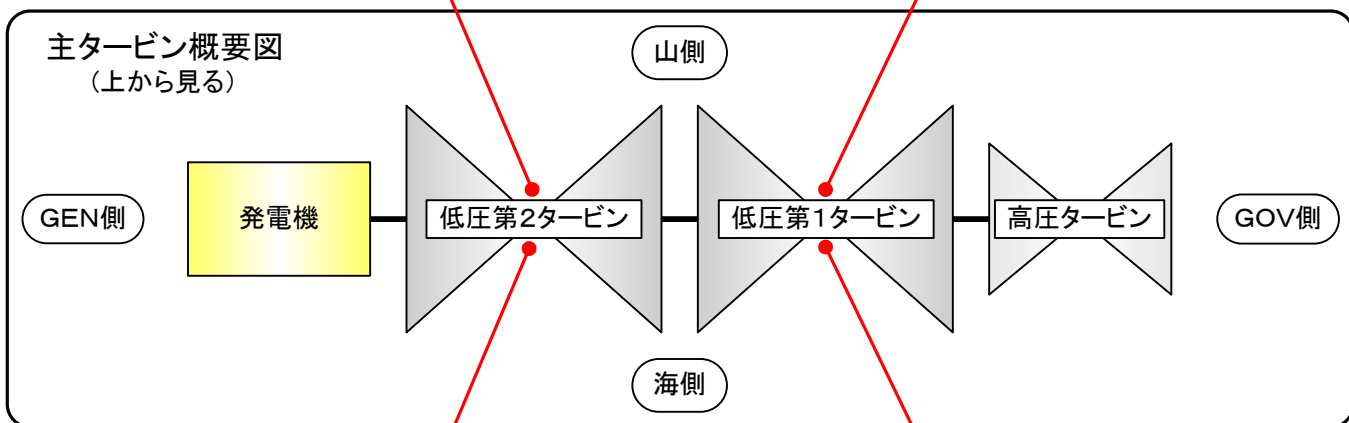
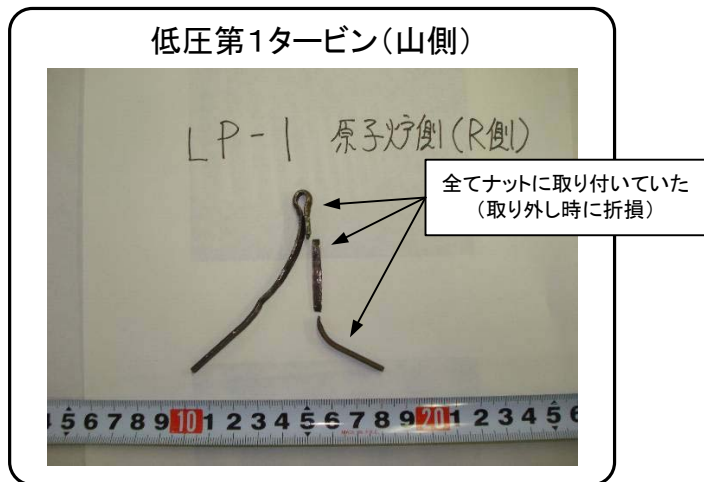
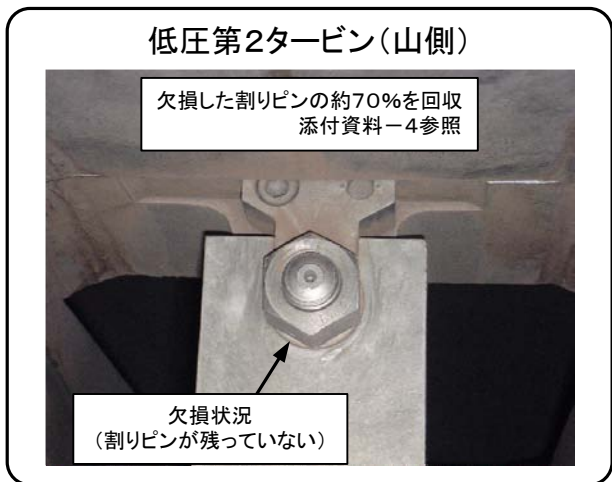
低圧タービン蒸気転向装置位置図



蒸気転向装置ボルト固定状況

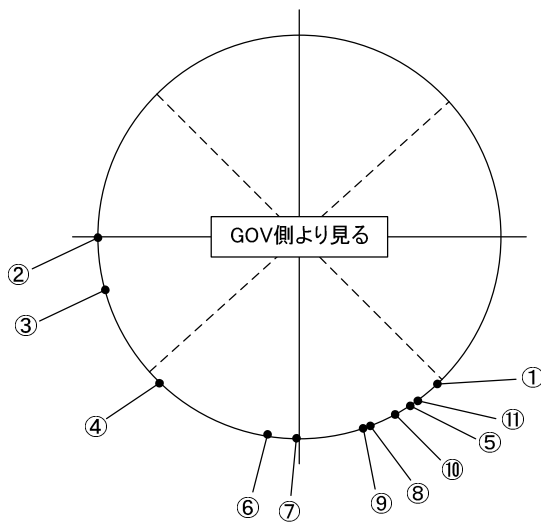
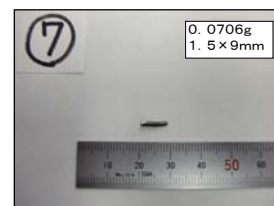
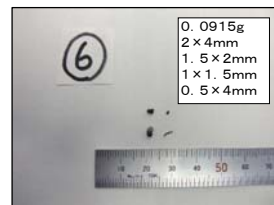
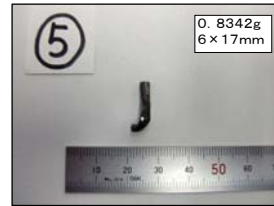
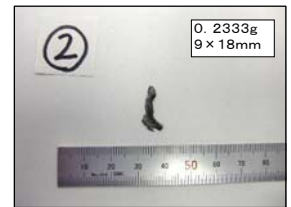
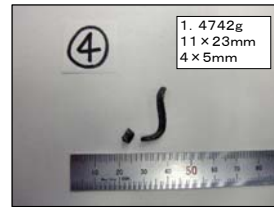
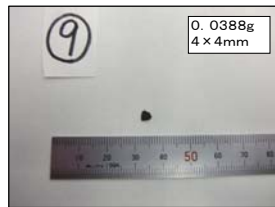
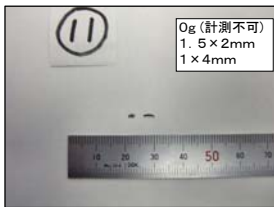
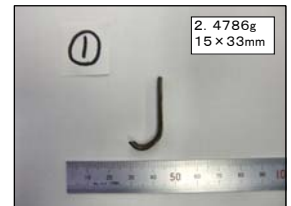
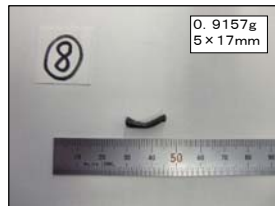
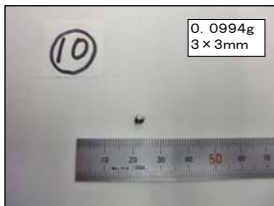
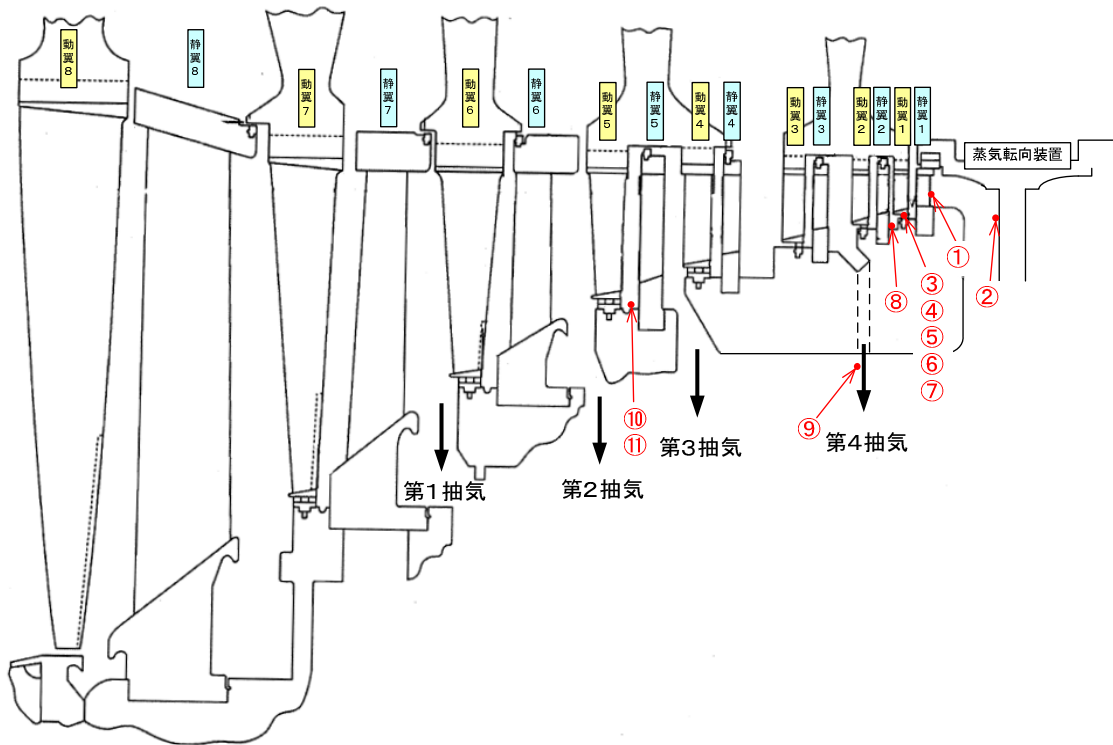


廻り止め割リピンの状況



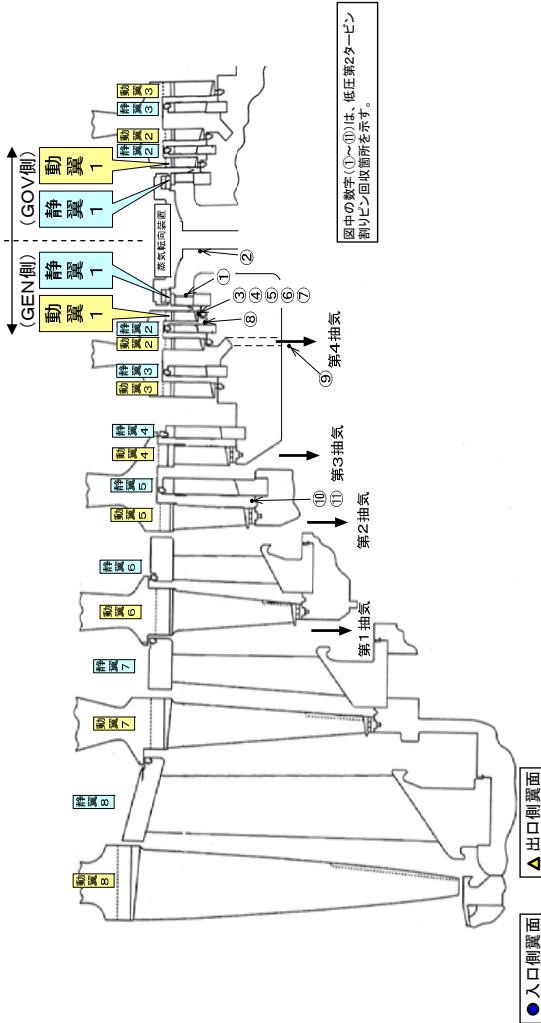
低圧第2タービン(山側)廻り止め割リピン回収状況

低圧第2タービン GEN側



回収位置(周方向)イメージ図

低圧タービン羽根の廻り止め割りピンとの接触跡 概略位置図

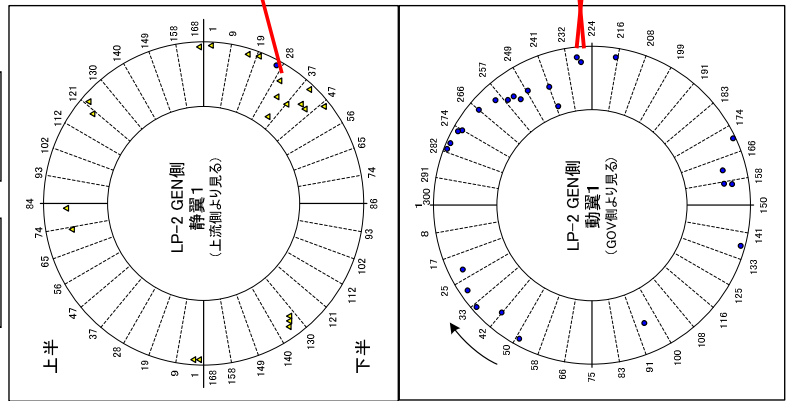
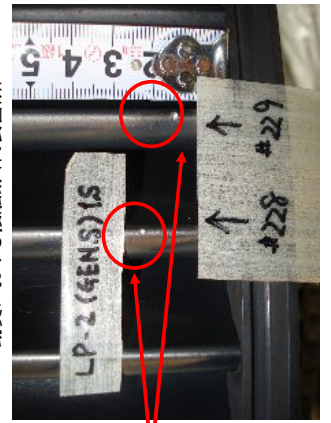
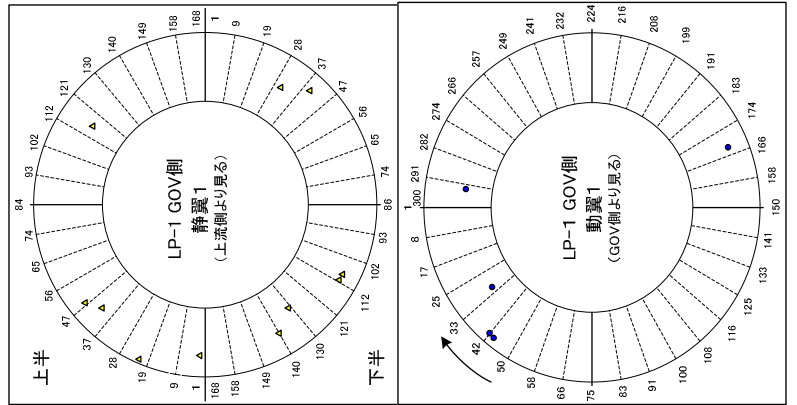


LP-1	翼面	翼番号	NO
上半	出口	静翼1	#1
			#2
			#3
			#42
			#48
			#117
下半	出口	静翼1	#30
			#40
			#108
			#111
			#131
			#140

LP-2	翼面	翼番号	NO
上半	出口	静翼1	#1
			#2
			#3
			#73
			#82
			#120
下半	入口	静翼1	#167
			#26
			#3
			#16
			#20
			#31
出口	静翼1	#33	
		#34	
		#37	
		#40	
		#42	
		#43	
出口	静翼1	#49	
		#133	
		#134	
		#135	
		#13	
		#14	

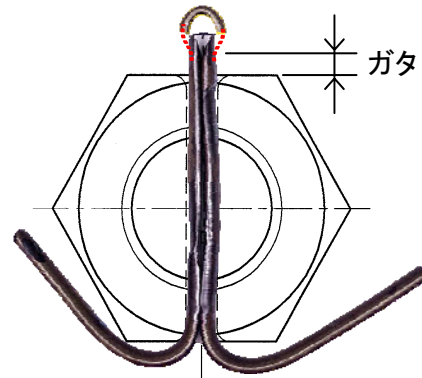
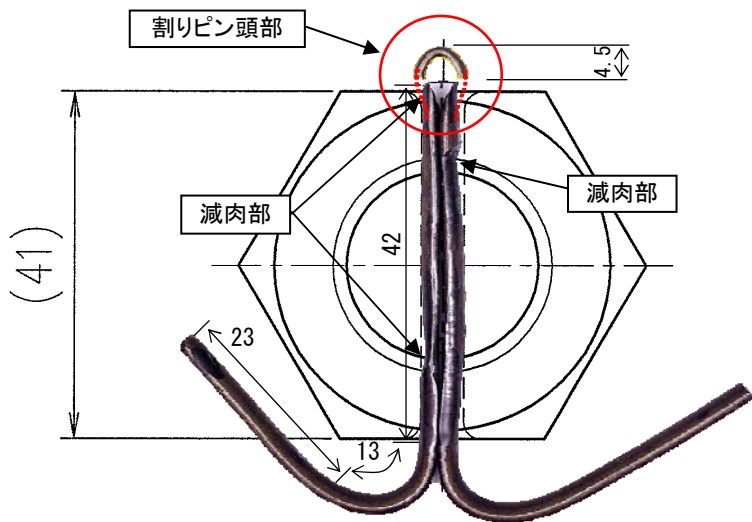
LP-1	翼面	翼番号	NO
GOV側	入口	動翼1	#31
			#42
			#44
			#169
			#293

LP-2	翼面	翼番号	NO
GOV側	入口	動翼1	#22
			#28
			#34
			#42
			#52
			#94
			#137
			#156
			#157
			#162
			#170
			#217
			#228
			#229
			#241
			#248
			#252
			#254
			#256
			#260
			#266
			#274
#275			
#279			
#281			
#281			



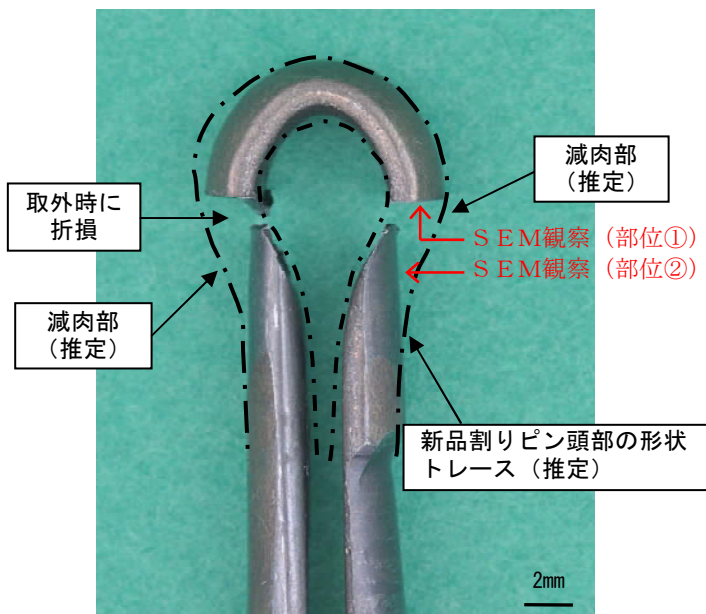
全て回収された廻り止め割リピンの摩耗減肉状況

(低圧第1タービン海側の割リピン)



[割リピン取付時の状況(予想)]

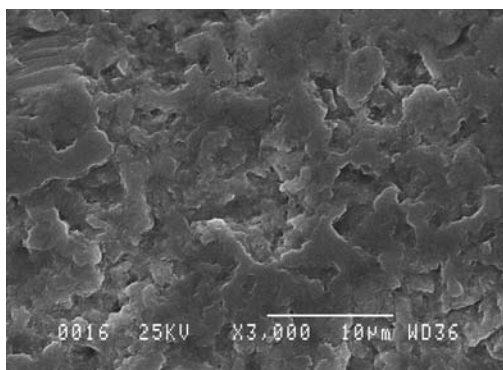
割リピン全体の外觀形状



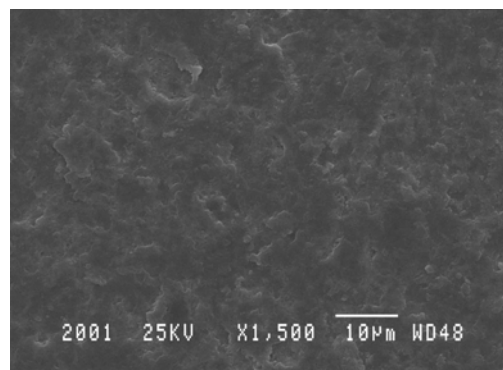
割リピン頭部の状況



新品割リピン頭部の形状(参考)



破損部のSEM観察(部位①)



破損部のSEM観察(部位②)

低圧タービン蒸気転向装置割りピン点検状況

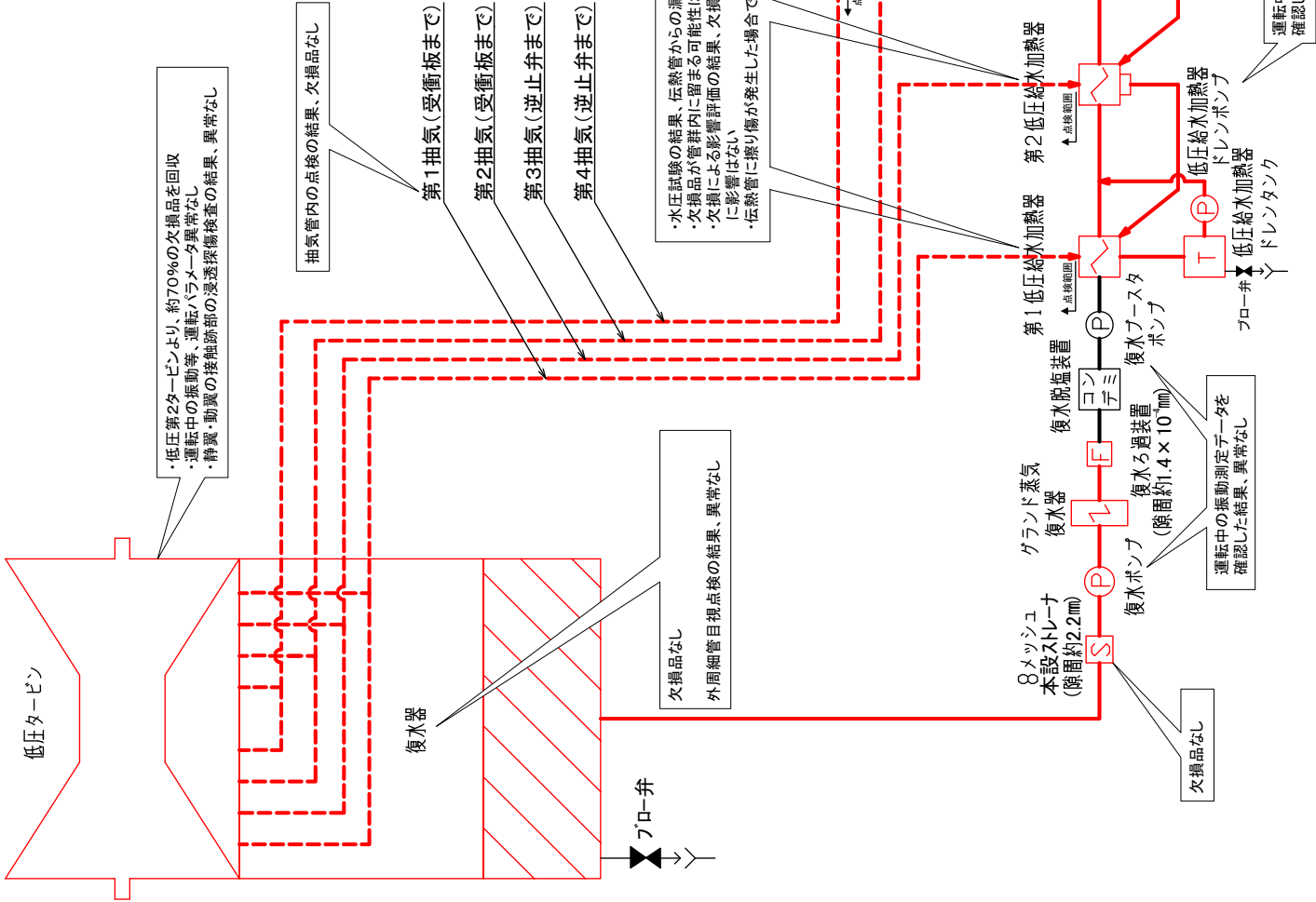
定期検査回	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
低圧第1タービン	開放	開放	非開放	開放	非開放	開放	非開放	開放	非開放	開放	非開放	開放
	山側の割りピンの半分が欠損 ・破片は低圧タービン入口のシールフィン部で発見	山側の割りピンが欠損 ・破片は低圧タービン入口のシールフィン部で発見 ・ナットの割りピン挿入穴端部の面取り(0.5mm程度のR加工)実施	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし ・割りピンの長さ変更 *1(50mm→80mm)	海側の割りピンの約半分が欠損 海側、山側とも取り外し時に折損
低圧第2タービン	開放	非開放	開放	非開放	開放	非開放	開放	非開放	開放	非開放	開放	非開放(予定)
	異常なし	異常なし ・念のため割りピン取替 ・ナットの割りピン挿入穴端部の面取り(0.5mm程度のR加工)実施	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし ・割りピンの長さ変更 *1(50mm→80mm)	山側の割りピンが欠損

*1: 第3回～第11回定期検査時においては、割りピンの欠損および異常の記録はないが、ナットの割りピン挿入穴端部、ボルトとナットの境界部に対応する箇所に、摩耗減肉が認められた事象は多々あり。また、割りピンを取り外す際に、摩耗減肉箇所から折損したこともあり、3号機第11回定期検査時に割りピンの長さを変更(50mm→80mm)した。

低圧第2タービン廻り止め割りピン欠損品の調査および影響評価


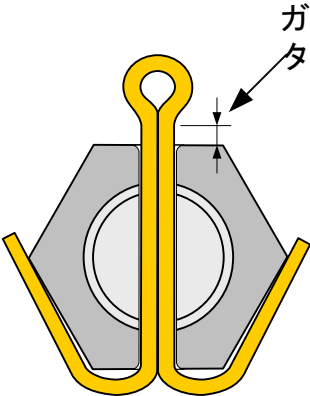
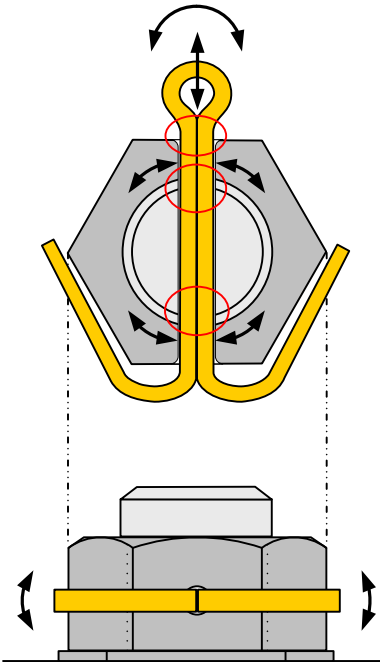
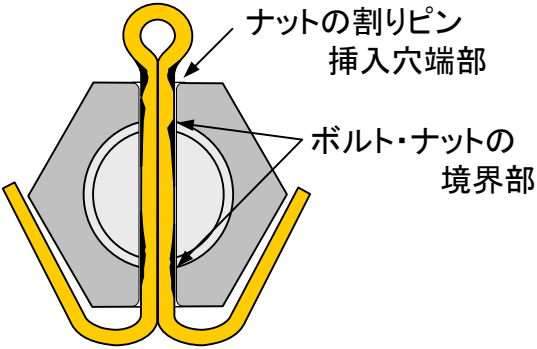
欠損品による機器への影響評価

機器名	評価内容		結果
	運転中の欠損品による影響評価	欠損品がどこかに残留したままどなかった場合の影響評価	
低圧タービン	・運転中の振動等の運転パラメータを確認した結果、異常なし	・低圧タービンの割りピンの欠損品は全て回収済み	良
復水器	・外周細管目視点検の結果、異常なし	・復水器内に欠損品のないことを確認済み	良
低圧給水加熱器	・水圧試験の結果、伝熱管からの漏えいなし	・欠損品が管群内に留まる可能性は極めて低い ・欠損による影響評価の結果、欠損品3.295gが伝熱管に衝突した場合でも、降伏応力以下であり、伝熱管の健全性に影響はない ・伝熱管に擦り傷が発生した場合でも、伝熱管の必要な厚さに影響を与えることはない	良
復水ポンプ	・運転中の振動測定データを確認した結果、異常なし	・ポンプ入口にストレーナがあるため、問題はない	良
低圧給水加熱器ドレンポンプ	・運転中の振動測定データを確認した結果、異常なし	・前サイクルの運転状況に問題はなく、また、今定後のポンプ試運転時に振動等の異常のないことを再確認した	良



赤字部は、欠損品が及ぶ可能性がある範囲

廻り止め割リピン損傷のメカニズム

<p>『通常の割リピン取付状態』</p> <p>(今回異常の見られなかった低圧第2タービン(海側)の割リピン等)</p>	
<p>『摩耗減肉による欠損等が見られた割リピンの取付状態(推定)』</p> <p>割リピンの挿入が若干浅く、長手方向のガタが通常より大きい。</p>	
<p>『割リピンの摺動状態』</p> <p>○ : 割リピンとボルト・ナットのピン穴との摺動部</p>	
<p>『割リピンの摩耗状況』</p> <p>ナットの割リピン挿入穴端部とボルト・ナットの境界部のピン穴との摺動により割リピンが摩耗減肉して、割リピンの損傷に至る。</p>	

テーパーピン取付状況図

