

敦賀発電所2号機
蒸気タービン取替計画について

平成18年7月20日
日本原子力発電株式会社

1. 蒸気タービン取替計画の概要

[計画の概要]

海外での低圧タービン円板の翼取付部における応力腐食割れ(以下、「SCC」という。)事象に鑑み、予防保全対策として、低圧タービンについては材料を変更し、全一体型ロータ構造の採用等、信頼性の向上を図った最新型の蒸気タービンに取替える。

また、高圧タービンについても、タービン点検時の保守性向上等を図った最新型の蒸気タービンに取替える。

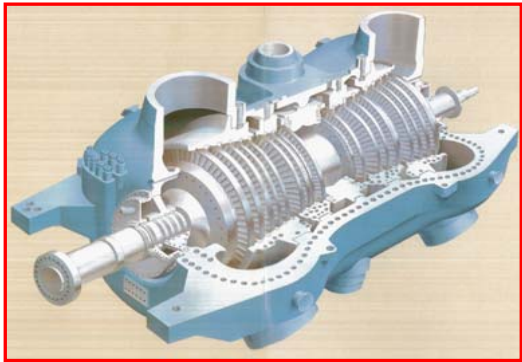
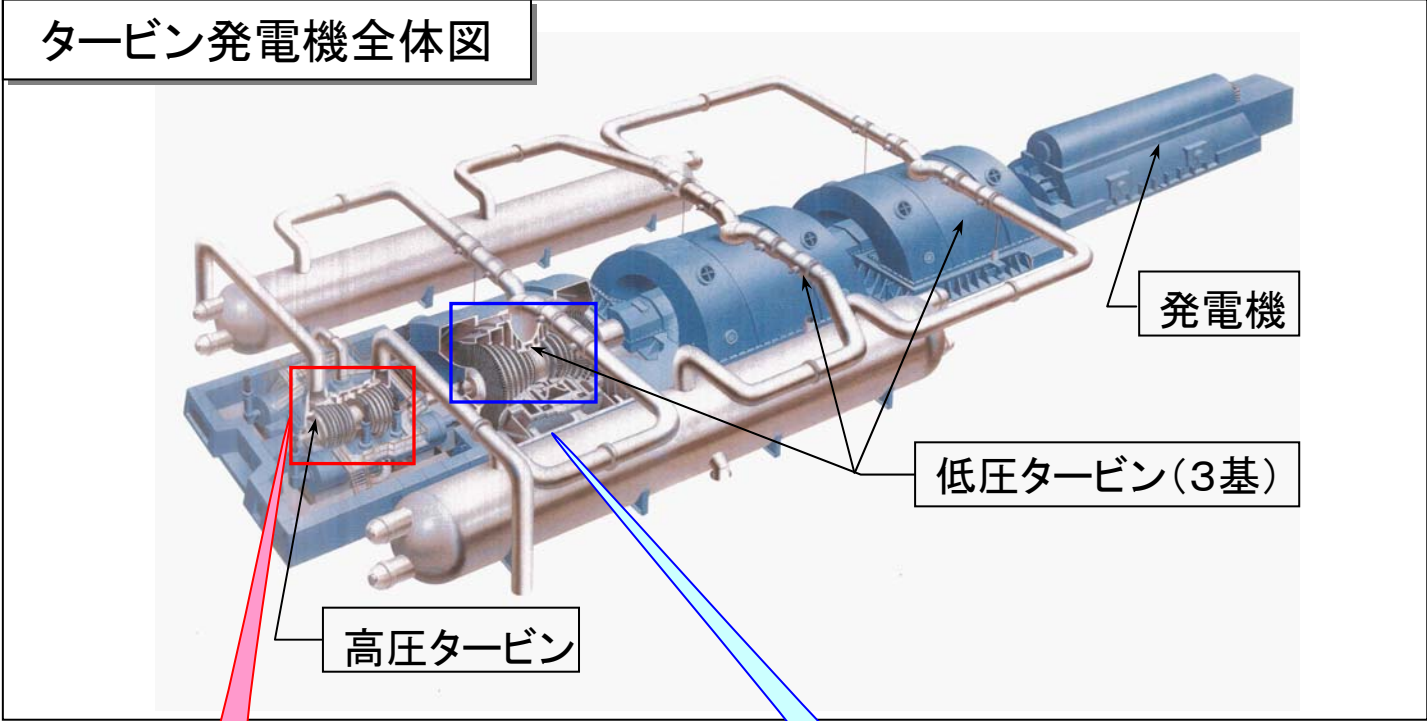
これによりタービン性能の効率が向上するため、原子炉定格熱出力一定運転において、電気出力が年平均で約3～4%上昇する。

[実施予定時期]

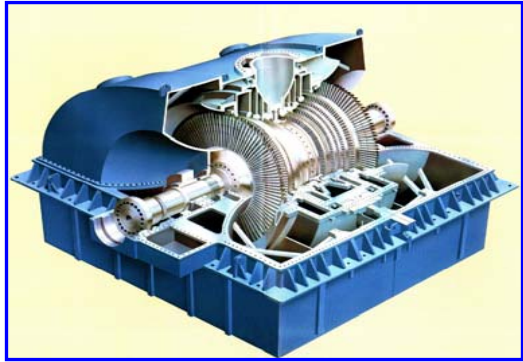
2007年度(第16回定期検査期間中)

上記計画について、原子力発電所周辺環境の安全確保等に関する協定書第3条第2項の規定により、平成18年6月16日、「事前了解願い」を提出。

1-1. 敦賀発電所2号機 蒸気タービン発電機概要図



高圧タービン



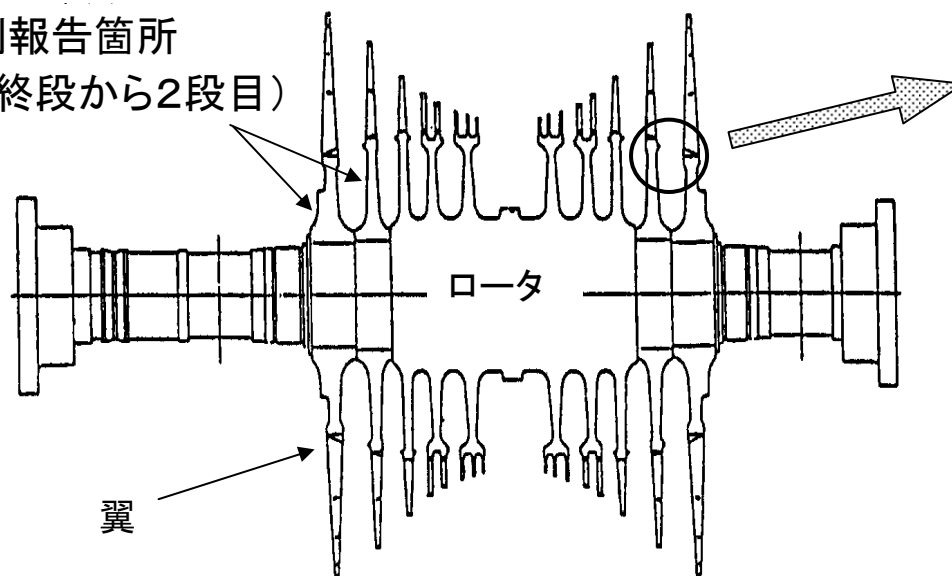
低圧タービン

1-2. 海外におけるSCC事例報告

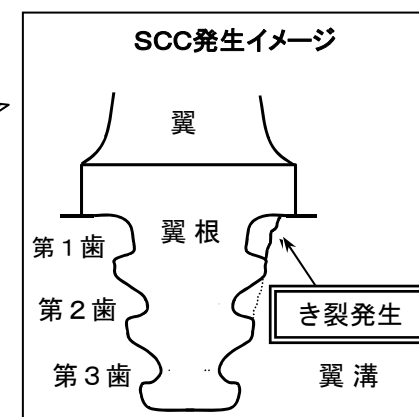
○海外におけるSCC事例内容

海外において、低圧タービンの蒸気流入側から見て最終段及び最終段から2段目の円板翼溝部にSCC事例が報告されている。

SCC事例報告箇所
(最終段及び最終段から2段目)



低圧タービン概略図



1-3. 国内におけるSCC事例報告

○SCC事象内容

1984年、四国電力(株)伊方発電所1号機において、低圧タービンの第2円板翼溝部にSCCの発生が確認された。

原因は、当該部が腐食環境条件下であることに加え、円板の材料にSCC感受性の高い高強度材を使用していたためであった。

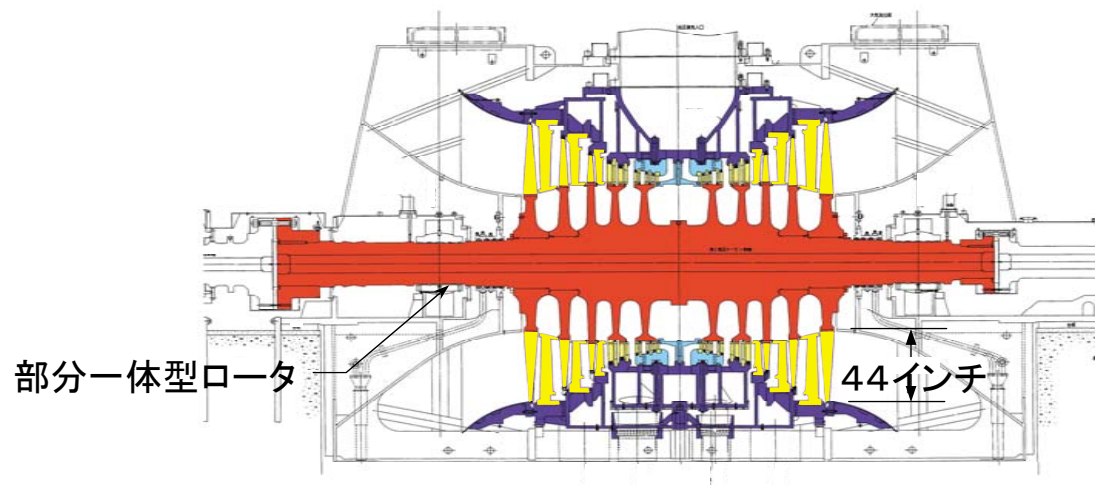
○県内発電所の対応状況

敦賀発電所2号機の低圧タービンは、上記事象を踏まえ建設当時から第2円板を含みSCC対策を施した低圧タービン(部分一体型)を導入したが、SCC発生の知見がなかった最終段及び最終段から2段目の円板については高強度材を使用していた。

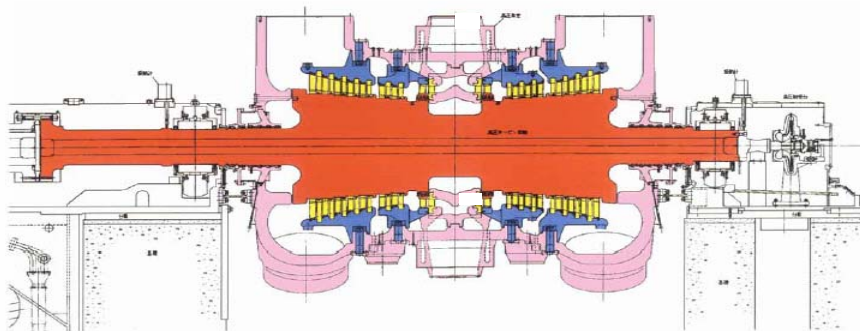
なお、敦賀発電所1号機(BWR)の低圧タービンはSCC対策のため、1989年に全一体型の低圧タービンへ取替えを行っており、県内の原子力発電所についても、SCC対策として全一体型の低圧タービンへ取替えを行ってきている。

1-4. 敦賀発電所2号機 蒸気タービン全体図(取替前)

取替前低圧タービン全体図

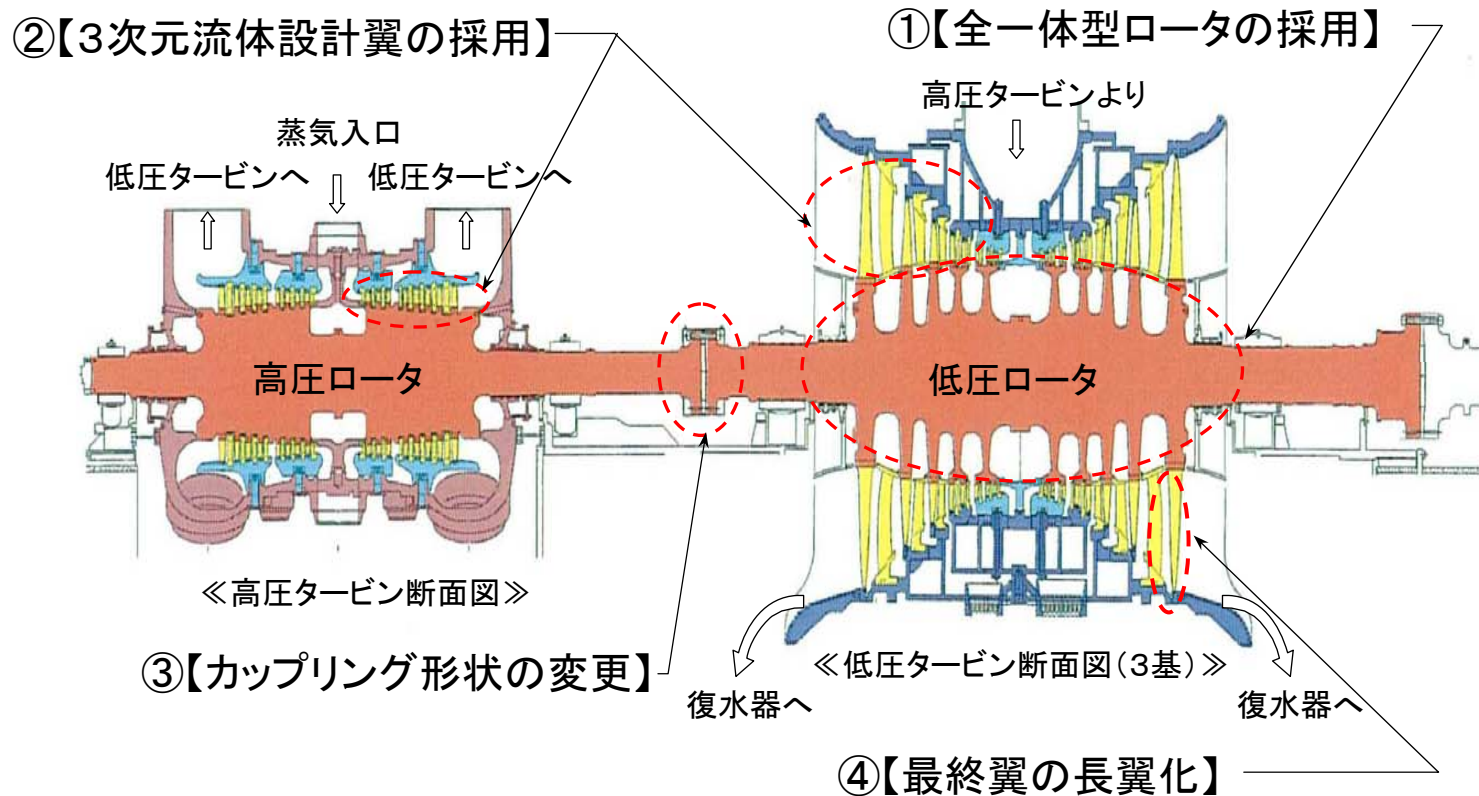


取替前高圧タービン全体図



1-5. 敦賀発電所2号機 蒸気タービン取替計画概念図(1/5)

取替後高圧・低圧タービン全体図



<取替範囲>

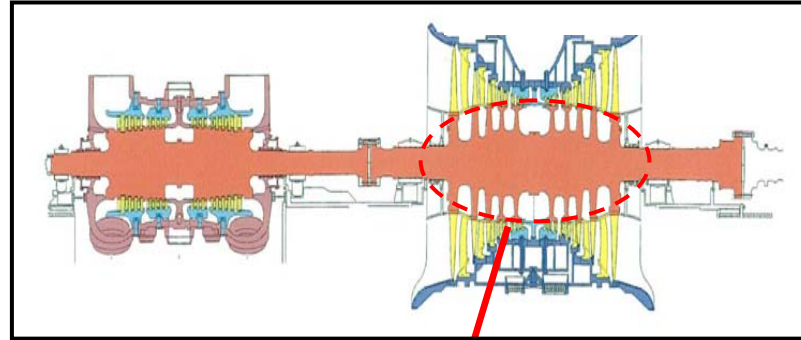
■ 低圧タービンロータ、高圧タービンロータ

■ 低圧タービン内部車室

■ 動・静翼 ■ 翼環 ■ 高圧タービン車室

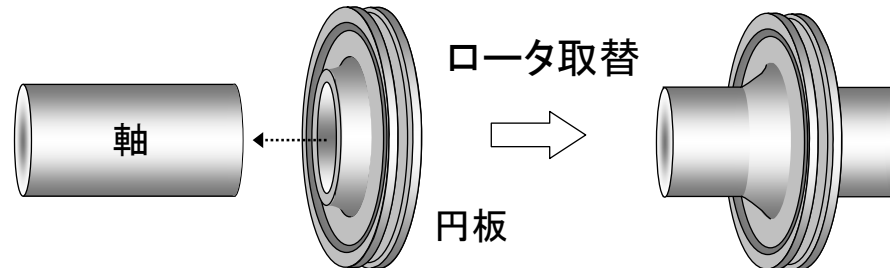
1-5. 敦賀発電所2号機 蒸気タービン取替計画概念図(2/5)

①SCC対策として全一体型ロータの採用



取替前ロータ
(部分一体型)

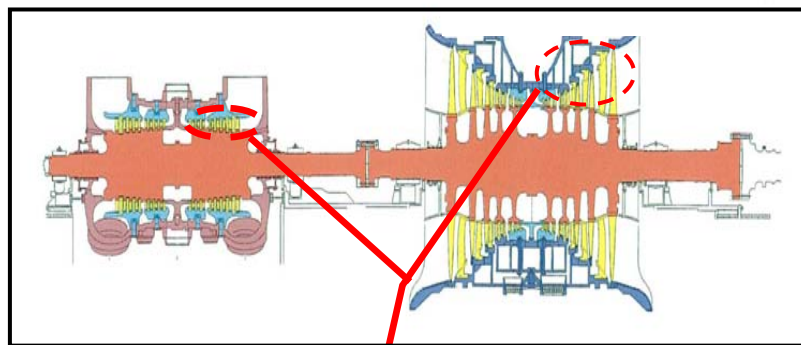
取替後ロータ
(全一体型)



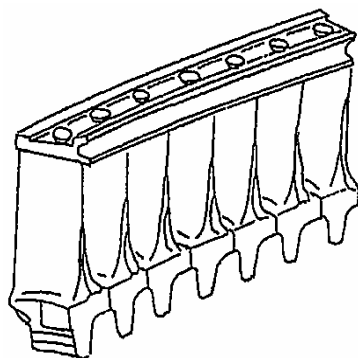
円板を加熱後、軸に挿入し冷却(焼嵌め)する部分一体型から、SCC感受性を下げた低強度材で円板と軸を一体成型しロータ断面積を増加させ、円板に発生する応力を下げた全一体型のロータを採用する。

1-5. 敦賀発電所2号機 蒸気タービン取替計画概念図(3/5)

②3次元流体設計翼の採用



取替前(平行翼)



取替後

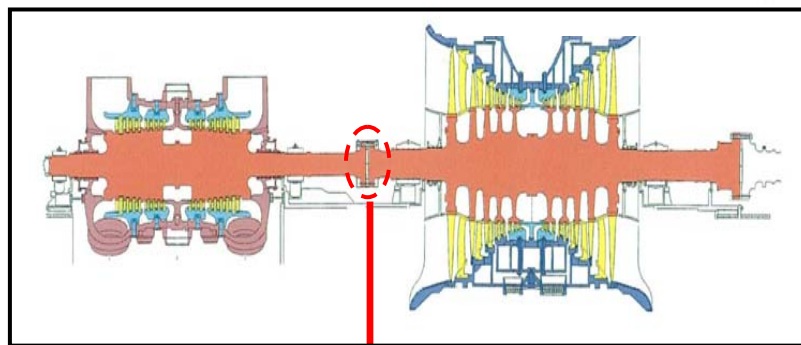
(3次元流体設計
翼)



翼を通過する蒸気の流れにより発生する損失を抑えるために周方向に傾きをつけた翼形状とするとともに、翼と外周の板を一体で成型し振動応力を低減させる翼形状とする。

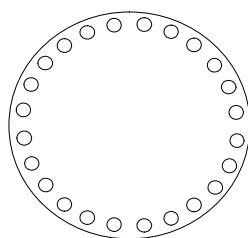
1-5. 敦賀発電所2号機 蒸気タービン取替計画概念図(4/5)

③カップリング形状変更

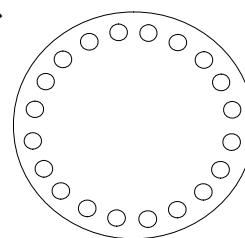
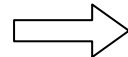


取替前カップリング

取替後カップリング



カップリング
形状変更



カップリングの取外し取り付け作業が容易にできるように、油圧で脱着可能なボルトを採用し、保守性を向上させる。

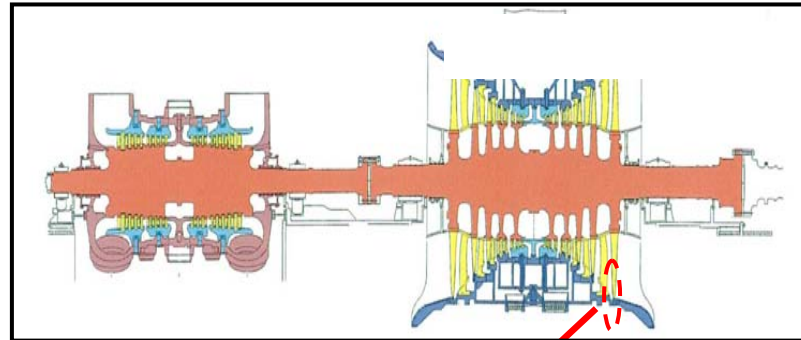
取替前取替後

ボルト穴径 60mm 73mm

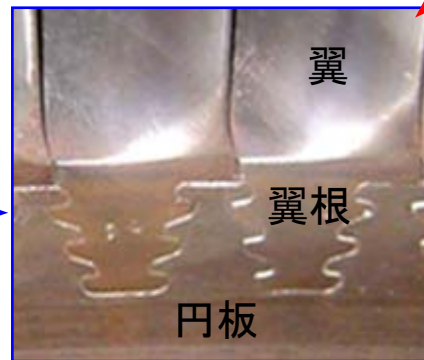
ボルト本数 24本 20本

1-5. 敦賀発電所2号機 蒸気タービン取替計画概念図(5/5)

④ 低圧タービン最終翼の長翼化



44インチ翼 54インチ翼



低圧タービン最終翼の長翼化採用PWRプラント

- ・四国電力

伊方発電所3号機(52インチ翼)

- ・北海道電力

泊発電所3号機(54インチ翼:予定)

- ・日本原電

敦賀発電所3, 4号機(54インチ翼:予定)

最終翼を54インチ翼にすることにより環状面積が増加し、通過する蒸気流速が低下することにより、翼振動応力を低減させる。また、翼溝に発生する応力を低減させるため、翼溝及び翼根を大型化する。

1-6. 蒸気タービン取替工事工程

項目	年月		平成19年				備考
	7	8	9	10	11	12	
蒸気タービン 取替工事			第16回定期検査				
		第16回定期検査開始 ▽				タービン性能検査 (使用前検査) ▽	
			取替工事			性能確認 (調整運転期間中)	

その他、第16回定期検査において、原子炉容器上部ふた取替工事を実施予定。

2. 定格熱出力一定運転実施に伴う発電設備の健全性評価(1/2)

平成13年及び平成18年の経済産業省原子力安全・保安院からの文書により、蒸気タービンの取替えに伴い設計最大出力の状態が変更となる場合には、「定格熱出力一定運転実施に伴う発電設備の健全性評価」を実施し、国の確認を受けることとなっている。

現在、国に届出中の内容は以下のとおり。

○評価に用いる電気出力

仮想的に蒸気加減弁が全開した運転状態(定格蒸気流量の104%相当)での蒸気タービンの設計最大出力

電気出力で1, 265. 5MW: 定格電気出力の109. 1%
(定格電気出力1, 160MW)

○評価項目

- ・タービンミサイル評価(翼等の内部飛来物による影響評価)
- ・蒸気タービン設備の健全性評価(車室等の強度評価)
- ・電気設備の健全性評価(発電機等の温度評価)

2. 定格熱出力一定運転実施に伴う発電設備の健全性評価(2/2)

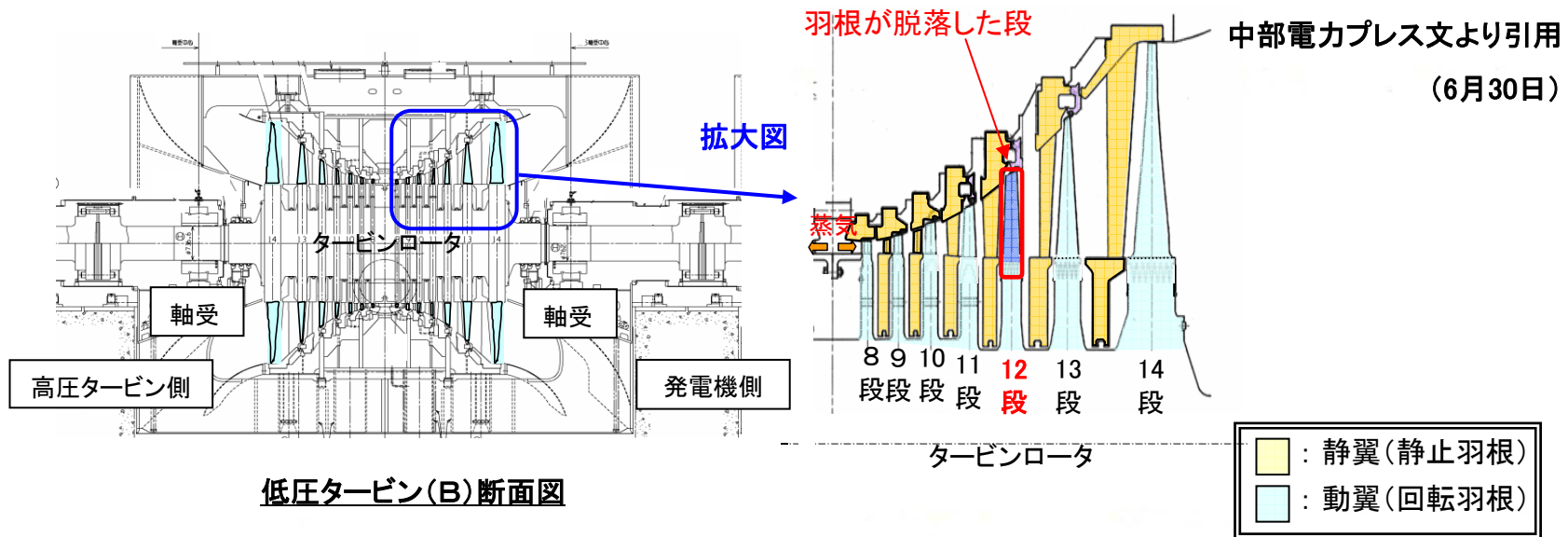
○評価結果

電気出力1,265.5MW(定格電気出力の109.1%)を上限とした運転制限曲線の範囲内で運転することにより、発電設備の健全性に問題はない。
(なお、詳細は別添参照)

評価項目	評価内容	評価結果※
タービンミサイル評価	最大回転速度が、タービンミサイル評価用回転速度以内	最大回転速度の116.5%はタービンミサイル評価用回転速度の118%以内
蒸気タービン設備の健全性評価	<ul style="list-style-type: none"> ①蒸気タービン構成機器の強度が許容値内 ②負荷遮断時の最大回転速度が非常调速装置の動作する回転速度未満 ③非常调速装置作動後に達する最大回転速度が強度評価用回転速度未満 	<ul style="list-style-type: none"> ①蒸気タービン構成機器の強度は全て許容値内 ②最大回転速度の105.7%は非常调速装置の動作する回転速度の111%未満 ③最大回転速度の116.5%は強度評価用回転速度の120%未満
電気設備の健全性評価	発電機及び主変圧器の温度上昇限度により定まる運転制限範囲の確認	電気出力の上限値1,294.8MW(定格電気出力の111.6%)内での運転により、健全性を確保。

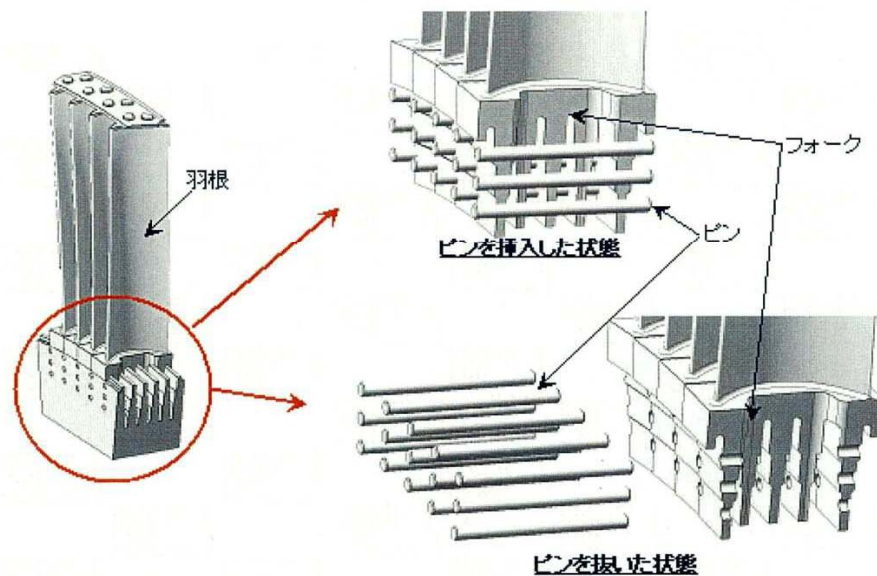
※：回転速度の%は定格回転速度に対する割合を示す。

浜岡原子力発電所5号機 低圧タービンの点検状況



低圧タービン(B)断面図

羽根の取付け部の構造



浜岡原子力発電所5号機 低圧タービンの点検状況

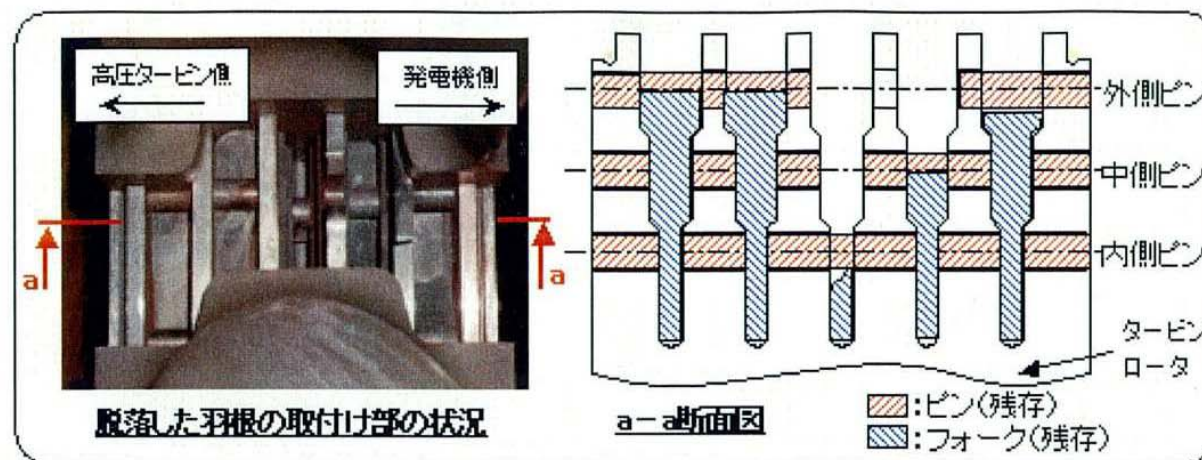
中部電力プレス文より引用

(6月30日)

低圧タービン(B)の点検状況

◆脱落した羽根の状況

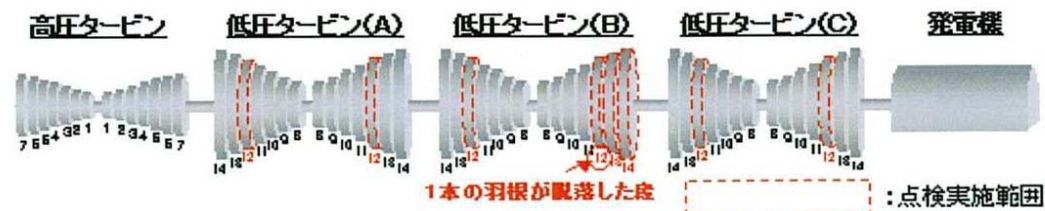
脱落した羽根は、フォークの部分が折損しており、羽根とタービン軸とを固定するためのピンも一部切断していることを確認しました。



浜岡原子力発電所5号機 低圧タービンの点検状況

中部電力プレス文より引用

(7月11日)



○目視点検および非破壊検査にて羽根のフォークに折損またはひび割れが確認された羽根の本数

◆第12段

	低圧タービン(A)		低圧タービン(B)		低圧タービン(C)	
	高圧タービン側	発電機側	高圧タービン側	発電機側	高圧タービン側	発電機側
目視点検結果	31/140	57/140	54/140	46/139*	59/140	21/140
目視点検 + 非破壊 検査結果	71/140	114/140	132/140	115/139*	121/140	109/140

◆第13段、第14段

	低圧タービン(B)発電機側	
	第13段	第14段
目視点検結果	0/160	0/122
目視点検 + 非破壊 検査結果	0/160	0/122

【表の見方】

表中の数字の分母は点検対象の羽根本数を、分子はそのうち折損またはひび割れが確認された羽根本数を示す。

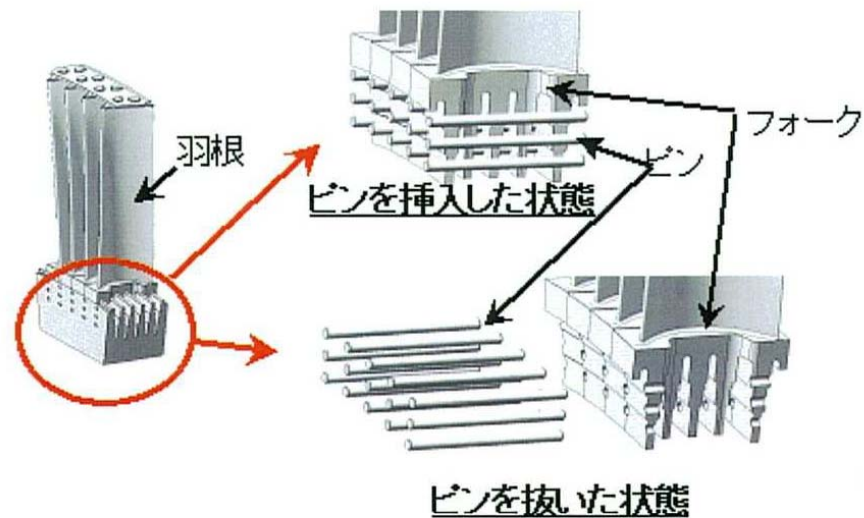
* 低圧タービン(B)については、脱落した羽根1本を除く。

浜岡原子力発電所5号機 低圧タービンの点検状況

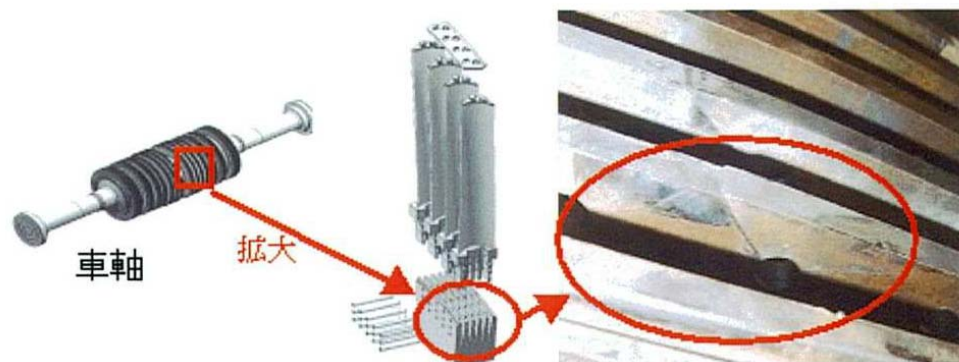
羽根取付け部の構造図

中部電力プレス文より引用

(7月11日)



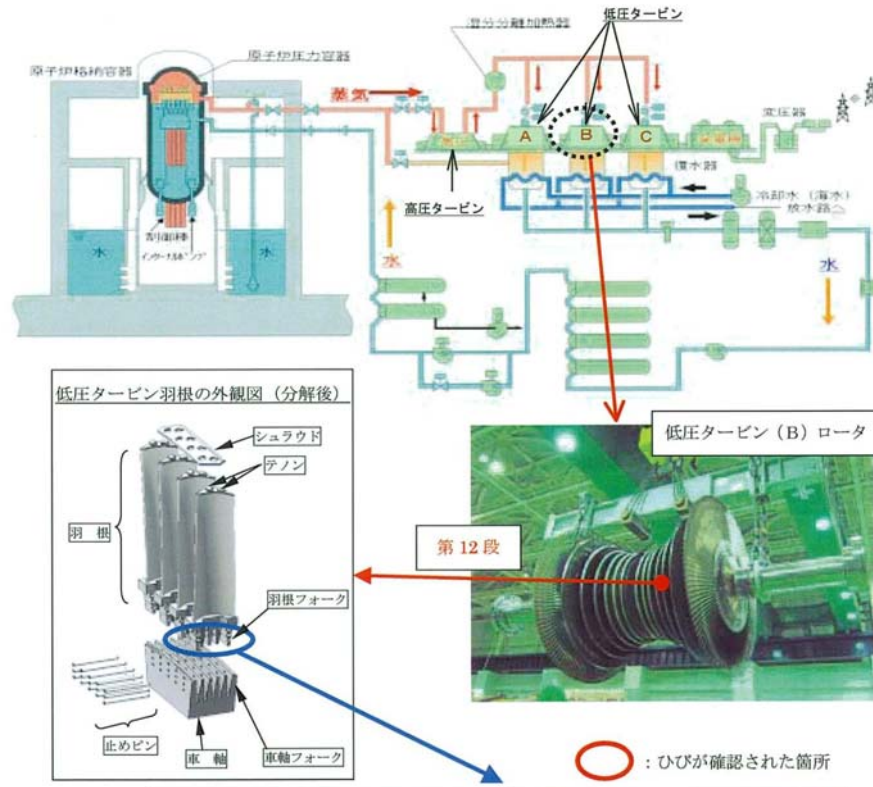
車軸の羽根取付け部のひび割れ状況(例)



車軸の羽根取付け部(低圧タービン(A)第12段発電機側)

志賀原子力発電所2号機 低圧タービンの点検状況

北陸電力プレス文より引用
(7月18日)



ひびの長さ：穴の内側約13mm、側面側約10mm

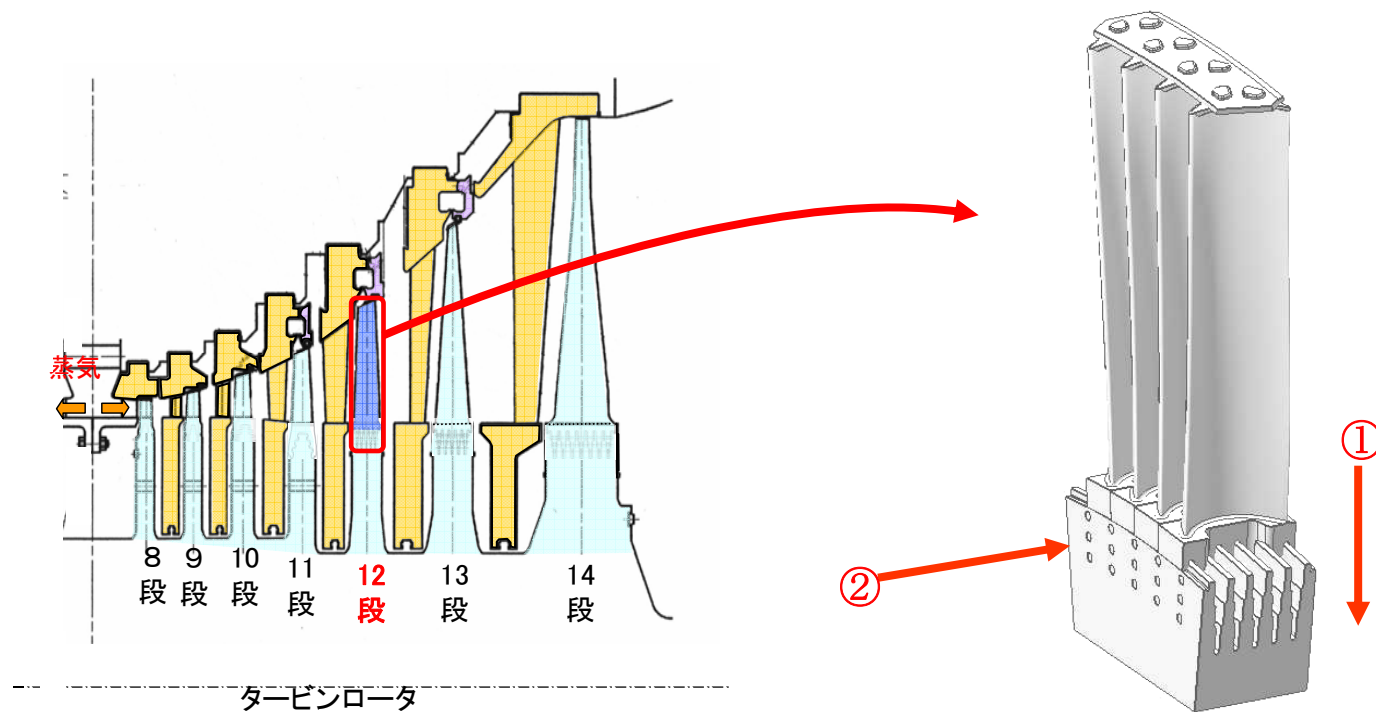


ひびの長さ：穴の内側約9mm、側面側約3mm

2枚の羽根フォーク部のひびの状況

浜岡原子力発電所5号機と敦賀発電所2号機低圧タービン翼の比較

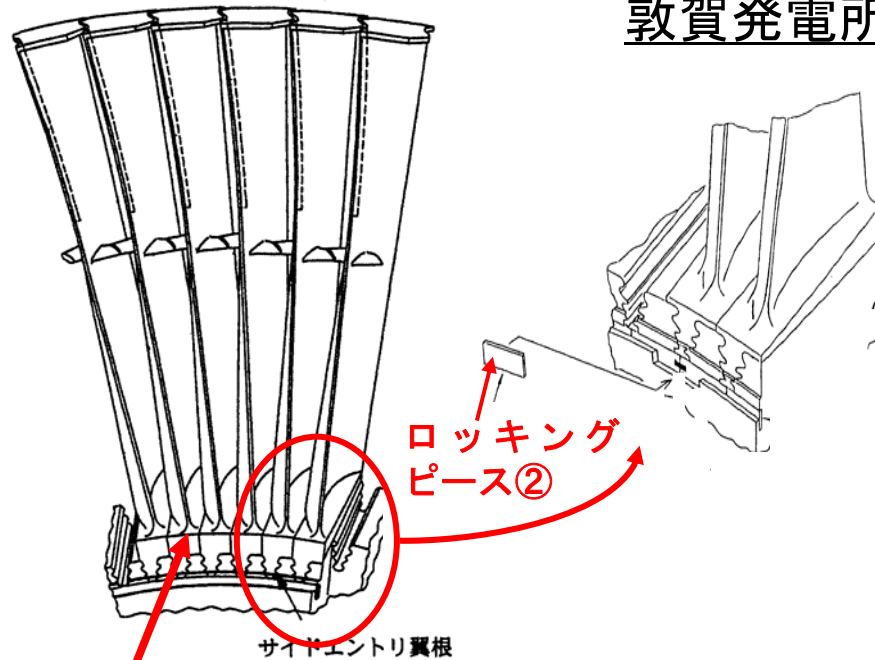
浜岡原子力発電所5号機



翼を円板部分に上方から挿入①し、
円板の横からピン②を差込む。

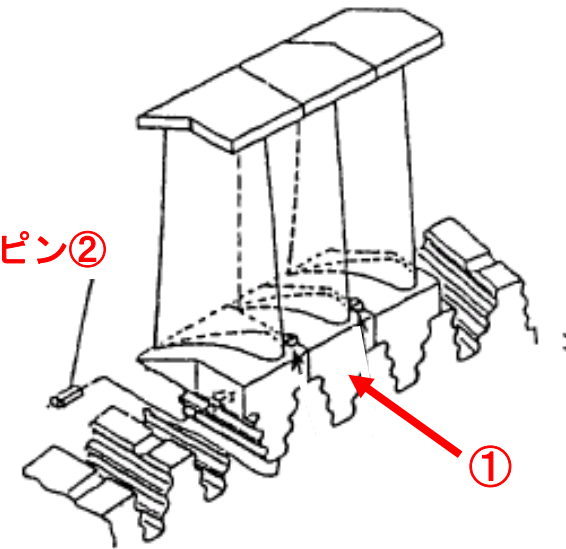
浜岡原子力発電所5号機と敦賀発電所2号機の 低圧タービン翼の比較

敦賀発電所2号機



翼固定方法
(低圧最終翼群 L-0段~L-2段)

翼を円板側面から挿入①し、円板の横
にロックングピース②を取り付ける。



翼固定方向
(高圧翼列, 低圧上流段翼列)

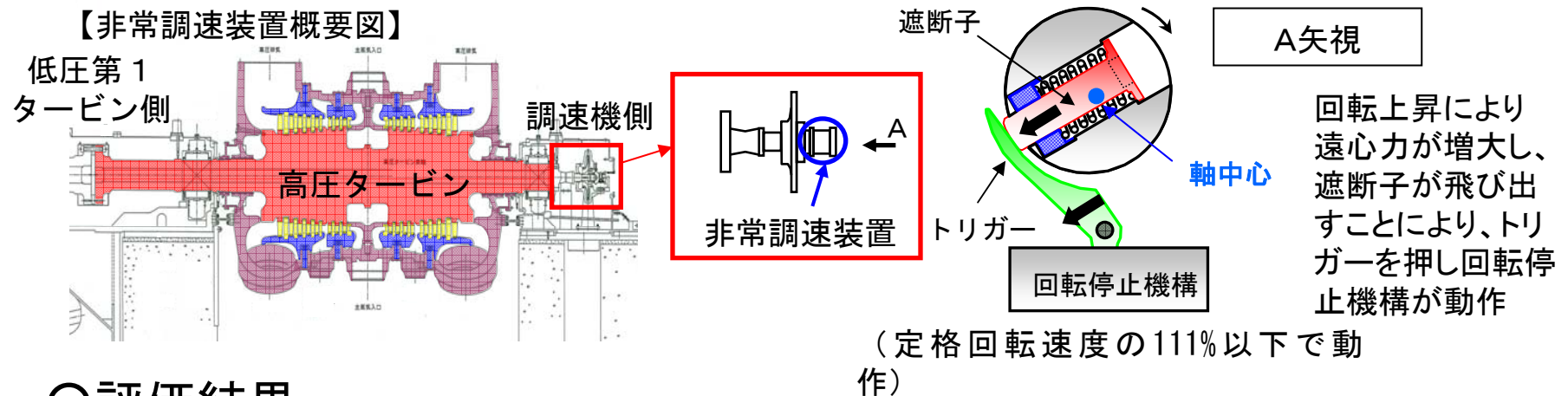
翼を円板側面から挿入①し、翼止めピ
ン②を取り付ける。

タービンミサイル評価(1/4)

[評価内容]

○評価項目

- ・非常調速装置作動時のタービン回転速度



○評価結果

蒸気タービン設備の健全性評価から得られた非常調速装置作動時のタービン回転速度は、定格回転速度の116.5%であり、この回転速度は定格電気出力一定運転時のタービンミサイル評価に用いるタービン回転速度(定格回転速度の118%)以内である。

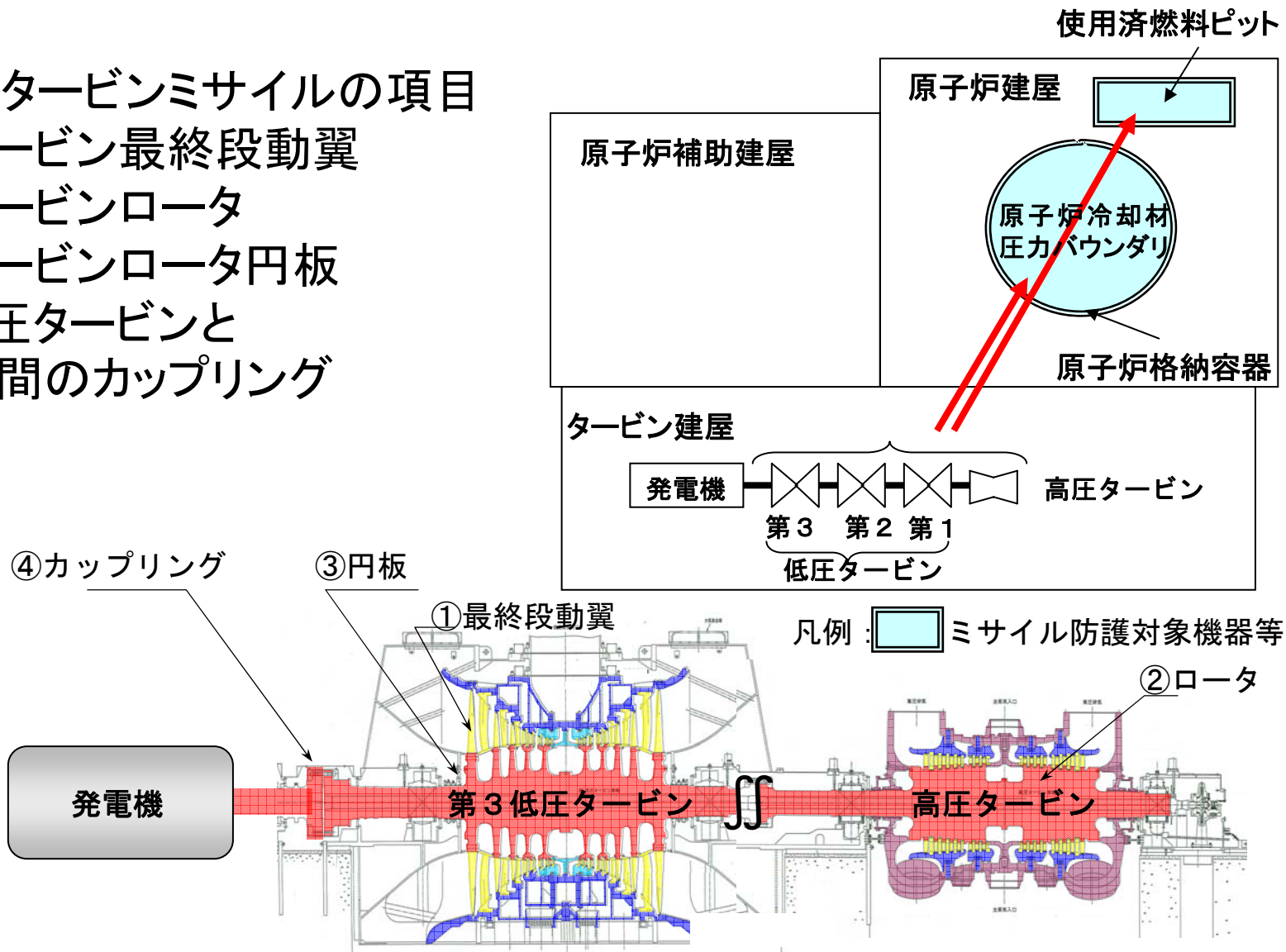
このため、タービンミサイルによる原子炉施設への影響を考慮する必要はない。

タービンミサイル評価(2/4)

仮にタービン部品がミサイル化した場合の評価を以下に記す。

○想定したタービンミサイルの項目

- ① 低圧タービン最終段動翼
- ② 高圧タービンロータ
- ③ 低圧タービンロータ円板
- ④ 第3低圧タービンと発電機間のカップリング



タービンミサイル評価(3/4)

○評価結果

- ・低圧タービン最終段動翼及び第3低圧タービンと発電機間のカップリング

破損する回転速度は、タービンミサイル評価に用いるタービン回転速度に対し十分な強度的余裕があることから、飛散しない。なお、仮に飛散したとしても低圧タービン最終段動翼は原子炉格納容器及び使用済燃料ピット屋根を貫通しない。また、第3低圧タービンと発電機間のカップリングは原子炉格納容器を貫通せず、使用済燃料ピットにも到達しない。

- ・高圧タービンロータ

仮に破損したとしても、車室で遮へいされるため、車室内にとどまりミサイルにならない。

タービンミサイル評価(4/4)

○評価結果

・低圧タービンローターの円板

円板の破損確率は、極めて小さいと考えられるが、仮に過去の円板の破損例から破損確率を 5×10^{-5} /年としても、円板が原子炉冷却材圧力バウンダリ及び使用済燃料ピットに到達する確率は判定基準に比べ極めて小さい。

タービンミサイル評価結果

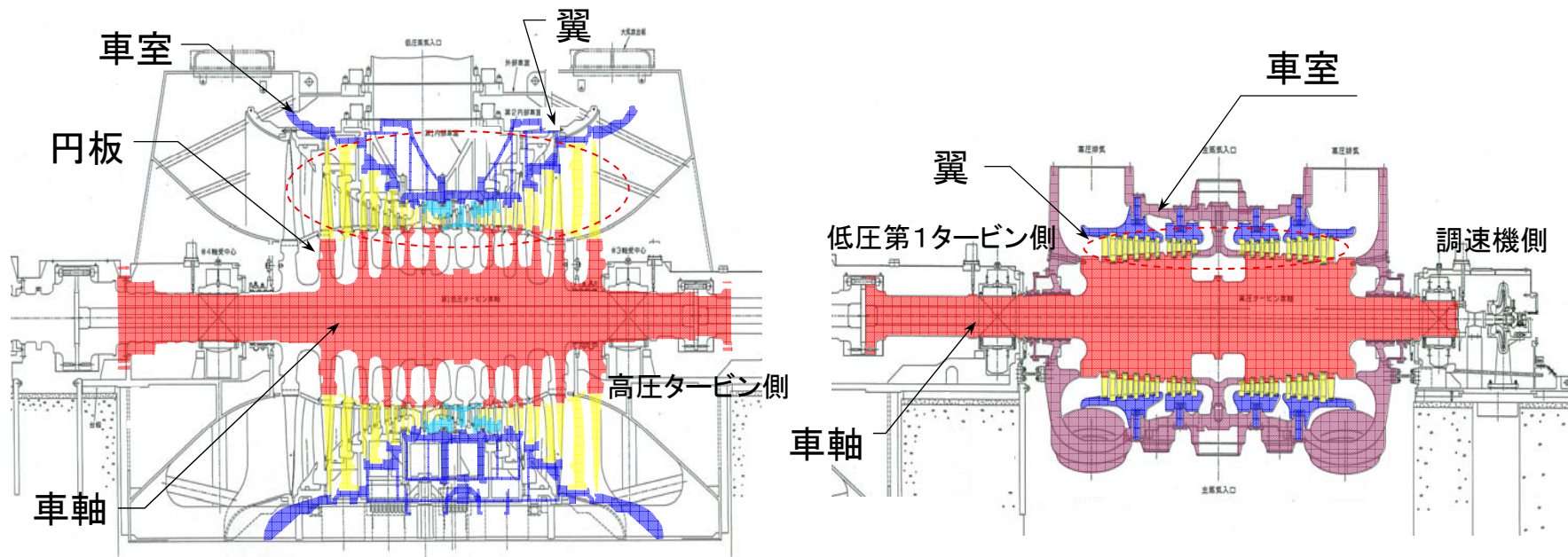
防護対象	原子炉冷却材圧力バウンダリ	使用済燃料ピット	判定基準
確率	約 3×10^{-8} /年	約 1×10^{-8} /年	10^{-7} /年

蒸気タービン設備の健全性評価(1/2)

[評価内容]

○評価項目

- ・非常調速装置作動時に達するタービン回転速度(116.5%)以上の回転速度(蒸気タービンの強度評価条件である定格回転速度の120%)における蒸気タービン構成機器の強度
『蒸気タービン構成機器:車室、円板、翼、車軸』
- ・負荷遮断時の調速装置の性能



蒸気タービン設備の健全性評価(2/2)

○評価結果

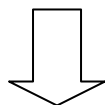
蒸気タービン構成機器の強度及び調速装置の性能は安全上問題がない。

- ・蒸気タービン構成機器の強度は、全て許容値範囲内である。
- ・負荷遮断時に達する最大回転数は、弁の応答遅れや弁の閉鎖時間を考慮しても定格回転速度の105.7%となり、非常調速装置が作動する定格回転速度の111%未満である。
- ・非常調速装置作動後に達する最大回転数は、弁の応答遅れや弁の閉鎖時間を考慮しても定格回転速度の116.5%となり、蒸気タービンの強度評価条件の定格回転速度の120%未満である。

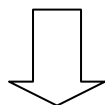
電気設備の健全性評価(1/3)

○電気設備における健全性再評価の必要性

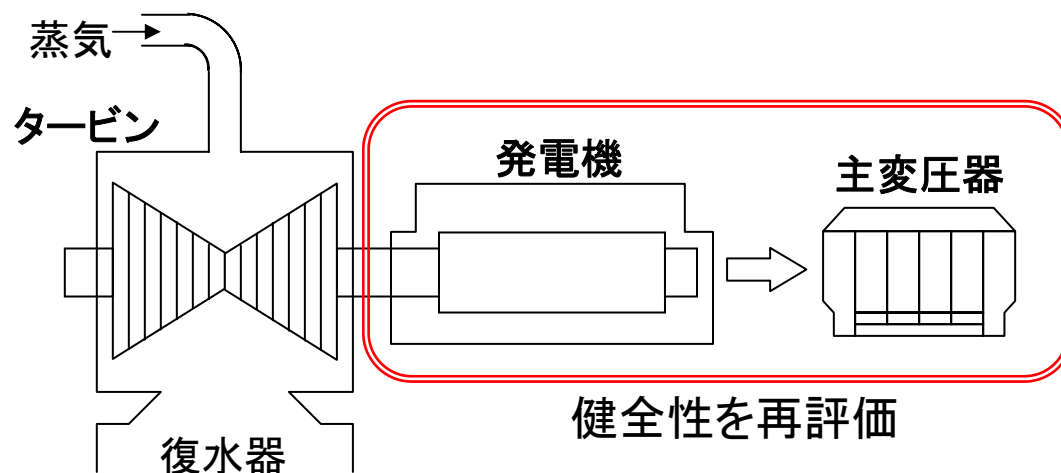
- ・タービン性能の効率の向上により、タービンの出力が上昇する。



- ・タービン出力の上昇により発電機の出力が上昇し、発電機構成部品の温度が上昇する。



- ・発電機等電気設備の運転範囲は、構成部品の温度により制限されるため、再評価を行なう。



電気設備の健全性評価(2/3)

[評価内容]

○評価項目

- ・発電機、主変圧器による運転制限範囲及び電気出力の上限値

○評価結果

- ・発電機及び主変圧器による運転制限曲線によって定まる電気出力の上限値は 1, 294. 8MW(定格電気出力の111. 6%、力率0. 989)であり、この運転制限範囲内で運転を行なうことにより、健全性が確保される。

電気設備の健全性評価(3/3)

発電機及び主変圧器による運転制限曲線

