

高浜発電所3, 4号機 低圧タービン取替計画について

平成19年10月27日

関西電力株式会社

1. 低圧タービン取替計画の概要

1

【計画の概要】

海外で発生した低圧タービン円板の応力腐食割れ(以下、「SCC」という。)事象に鑑み、長期的な信頼性を確保するという観点から、予防保全対策として、低圧タービンを部分一体ロータからSCC感受性の低い材料を使用した全一体ロータへ取り替える。

また、取替えにあたっては、最新の信頼性向上技術、効率向上技術を適用する。

今回の取替えに伴い、タービン性能の効率が向上することにより、従来から実施している定格熱出力一定運転の下では、電気出力が約1.5～3.0%上昇する。

【実施予定時期】

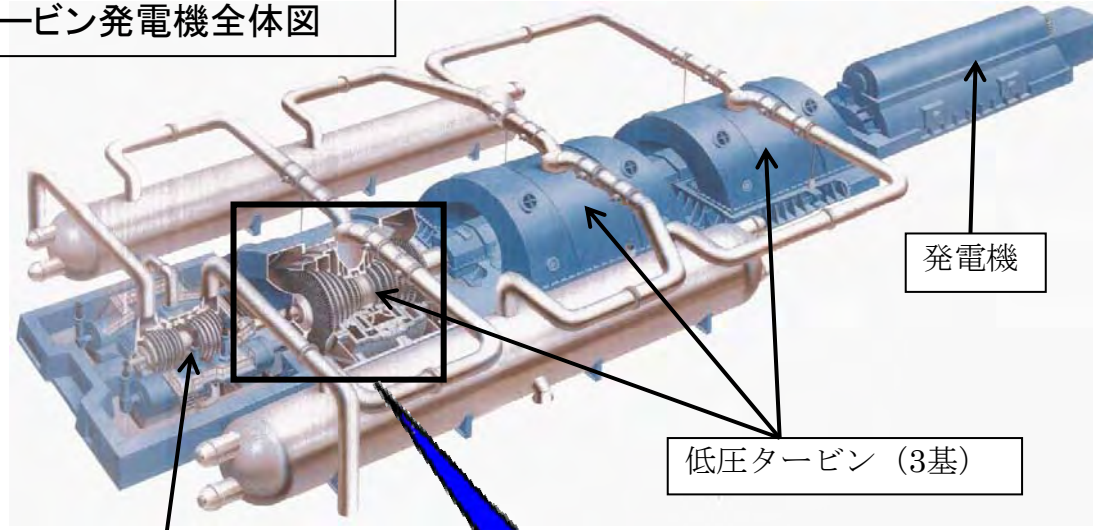
高浜3号機:平成21年度(第19回定期検査期間中)

高浜4号機:平成21年度(第19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19年10月10日、「事前了解願い」を提出。

1-1. 高浜3, 4号機 低圧タービン概要図

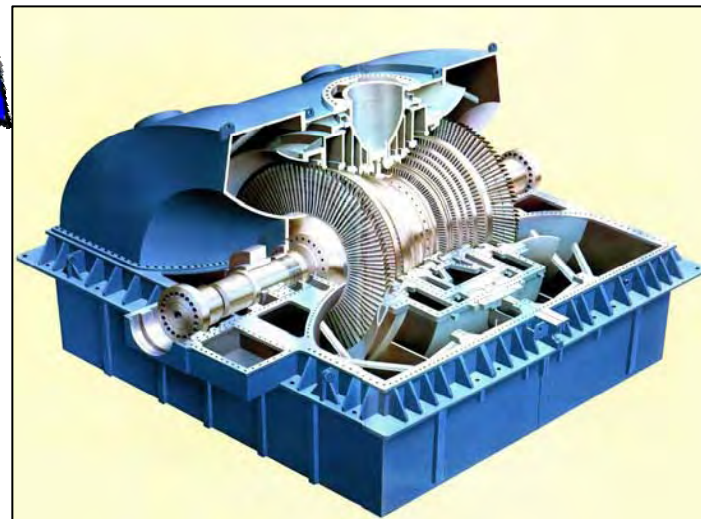
タービン発電機全体図



発電機

低圧タービン (3基)

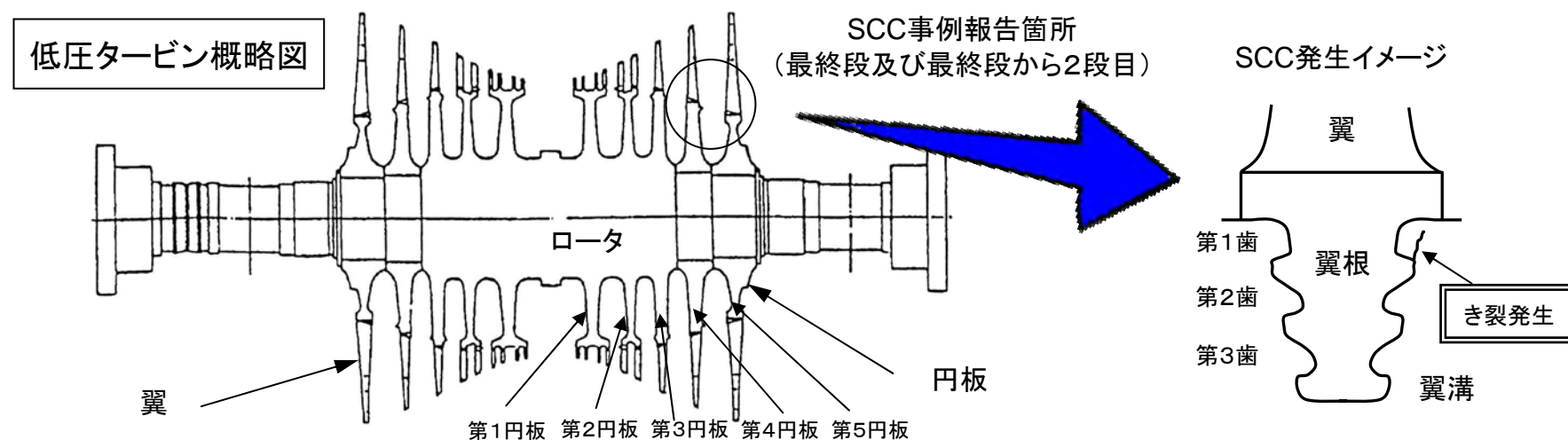
高圧タービン



1-2. 国内外におけるSCC事例

【海外におけるSCC事例】

蒸気出口側2段(最終段及び最終段から2段目)の円板翼溝部におけるSCC事例が報告されている。



【国内におけるSCC事例】

1984年、四国電力(株)伊方1号機において、第2円板翼溝部にSCCの発生が確認された。

なお、当時は当該第2円板は焼きばめ構造であった。

蒸気出口側2段の円板翼溝部におけるSCC事例は報告されていない。

1-3. 当社の対応状況

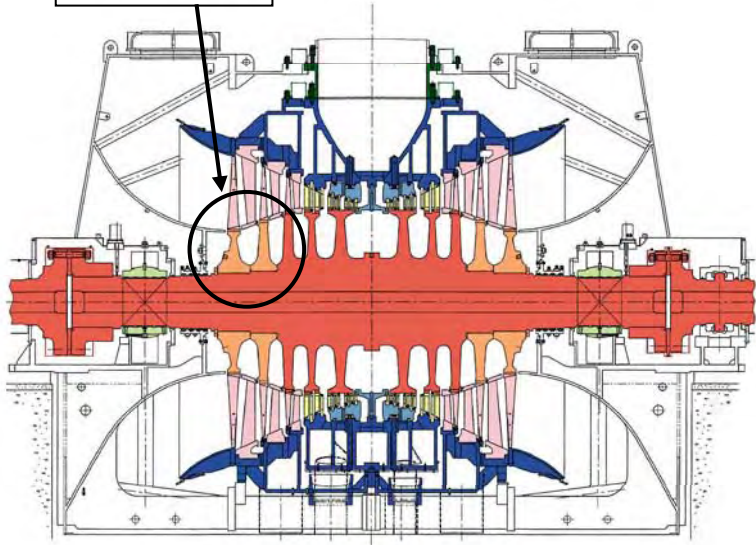
- 美浜1, 2, 3号機、高浜1, 2号機、大飯1, 2号機については、SCC対策として全一体ロータへの取替えを実施済みである。
- 高浜3, 4号機については、建設時から第2円板等のSCC対策を施した部分一体ロータを導入したが、SCC発生の知見がなかった蒸気出口側2段の円板については高強度材を使用した焼きばめ円板を採用している。(大飯3, 4号機も部分一体ロータを採用しており別途取替を検討)

ユニット		台数	設置時期 (年)	取替時期 (年)	電気出力 (MW)
美浜	1号	1	S45(1970)	H12(2000)	340
	2号	2	S47(1972)	H06(1994)	500
	3号	3	S51(1976)	H07(1995) H08(1996)	826
高浜	1号	3	S49(1974)	H05(1993) H06(1994)	826
	2号	3	S50(1975)	H06(1994) H07(1995)	826
大飯	1号	3	S54(1979)	H11(1999)	1175
	2号	3	S54(1979)	H09(1997)	1175

1-4. 高浜3, 4号機 低圧タービン全体図(取替前後)

取替前

部分一体ロータ



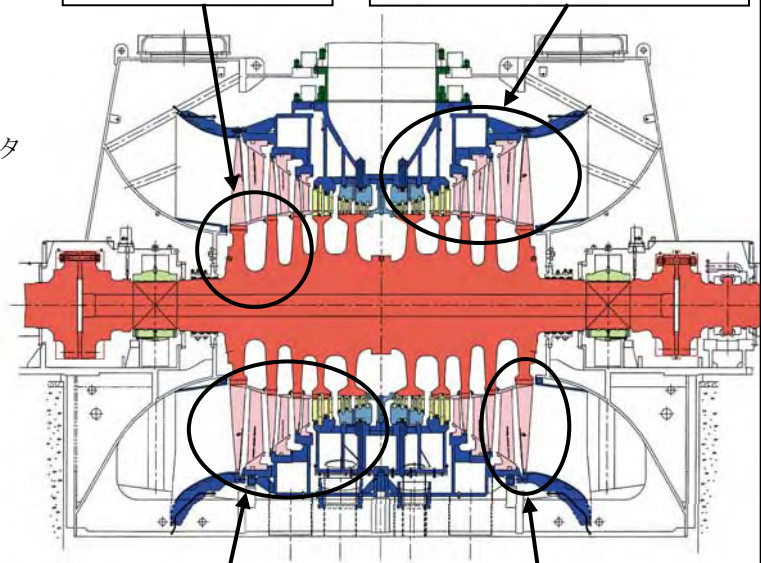
主要取替部品

- . . . 低圧ロータ
- . . . 内部車室
- . . . 最終翼群
- . . . 上流段翼
- . . . 翼環
- . . . 円板 (焼きばめ)

取替後

全一体ロータの採用

完全3次元流体設計翼の採用

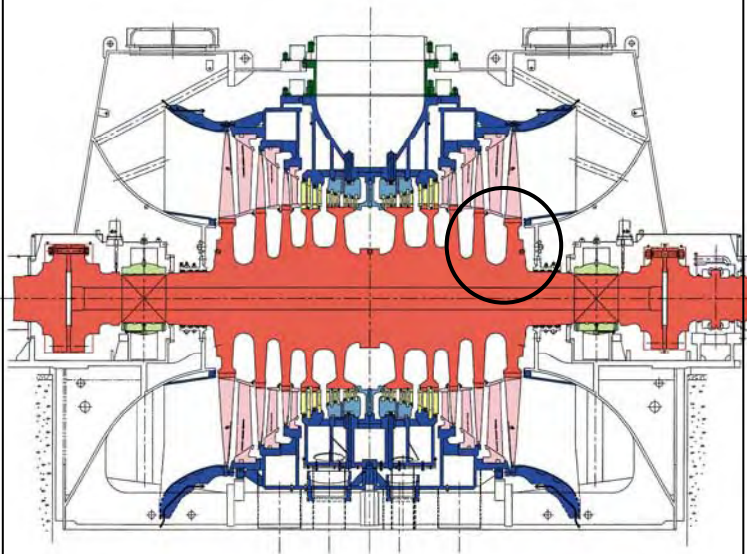


ISB翼の採用

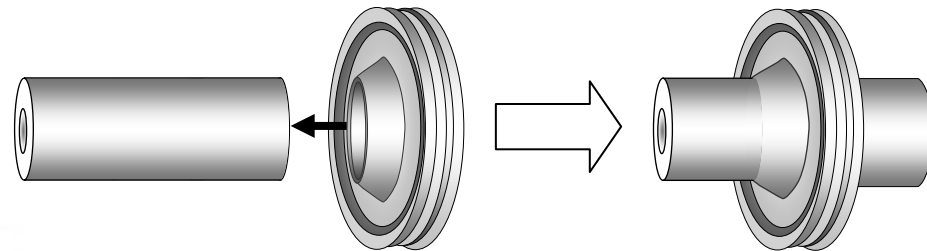
最終翼の長大化

1-5. 高浜3, 4号機 低圧タービン取替えに係る主な改良点(1/4)

① 全一体ロータの採用(SCC予防保全対策)



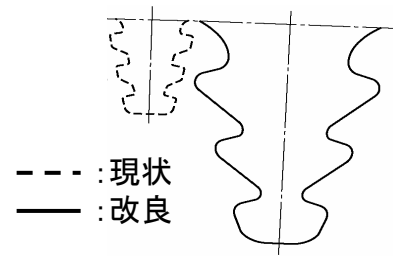
○材料の強度が高いほどSCC感受性が高いことが知られていることから、耐SCC性を向上させるため、低強度材を使用した全一体ロータを採用する。(690MPa級→620MPa級)



【円板を加熱後、軸に挿入したロータ（焼きばめ）】

【軸と円板を一体成型したロータ】

○翼溝に発生する応力を低減させるため、翼根及び翼溝の大型化による受圧面積の増大を図るとともに、翼溝コーナ部の半径を大きくした構造する。



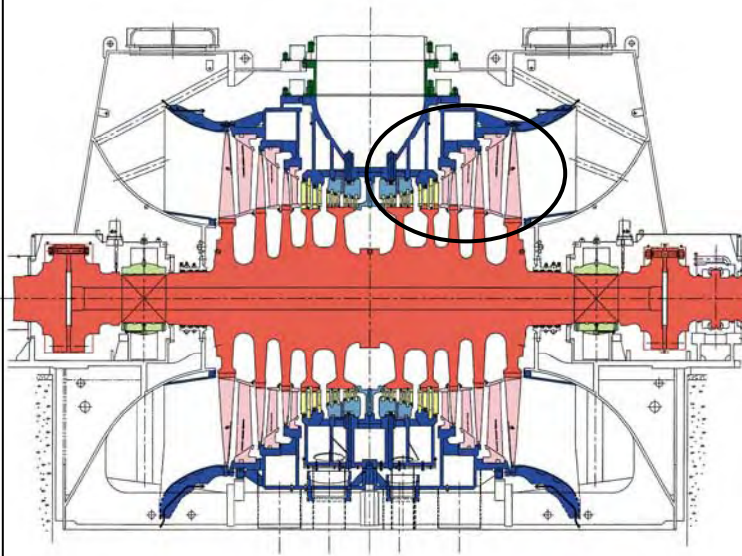
--- : 現状
— : 改良



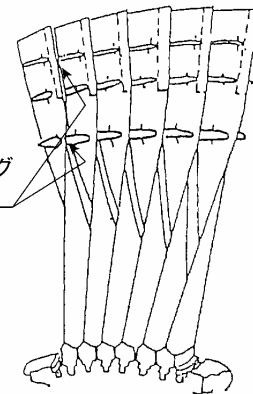
1-5. 高浜3, 4号機 低圧タービン取替えに係る主な改良点(2/4)

② ISB翼の採用(信頼性向上技術) (ISB: Integral Shroud Blade)

○遠心力による翼の振り戻りを利用してかみ合わせた全周綴り構造の採用により、振動応力を低減させる。



ラッシングワイヤ

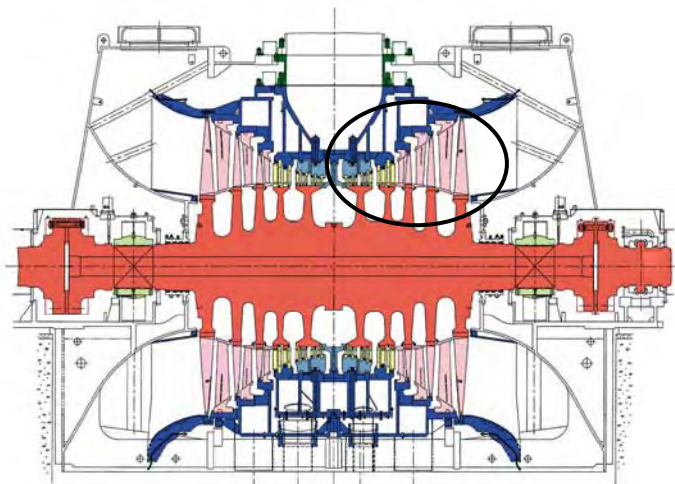


取替前(グループ翼(5~6枚))

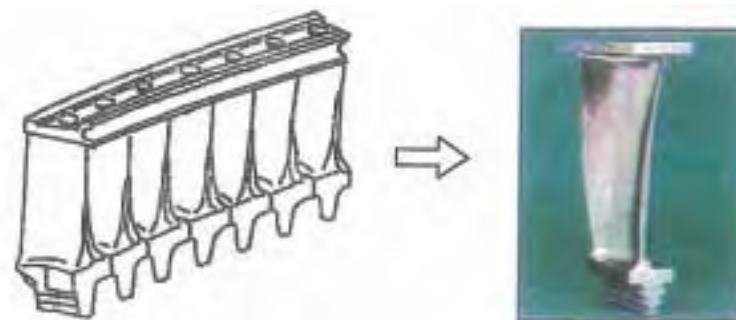


取替後(全周綴り構造)

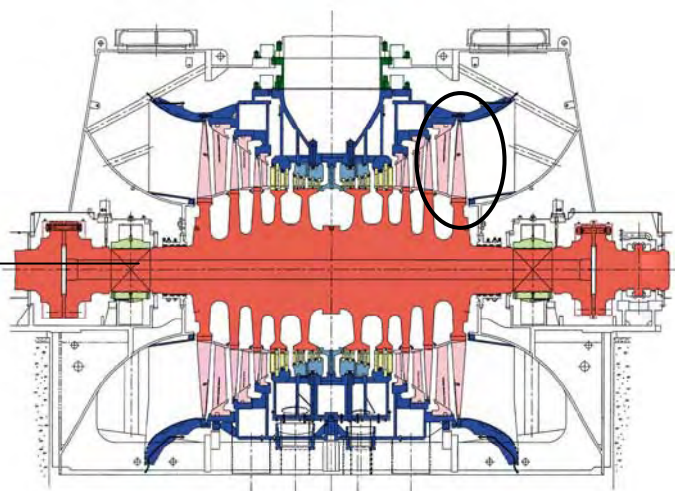
③ 完全3次元流体設計翼の採用(効率向上技術)



○従来の平行翼から3次元形状とすることにより、翼を通過する蒸気の流れにより発生する損失を低減させる。



④ 最終翼の長大化(信頼性/効率向上技術)



○現状40インチである最終翼を46インチとし、最終段動翼の蒸気流速を減速させることで翼振動応力を低減するとともに、排気損失を低減させる。

(参考)

☆46インチ採用ユニット(当社)

・美浜1号機、大飯1, 2号機

☆低圧タービン最終翼の長翼化採用PWRユニット

・四国電力 伊方3号機(52インチ翼)

・北海道電力 泊3号機(54インチ翼: 予定)

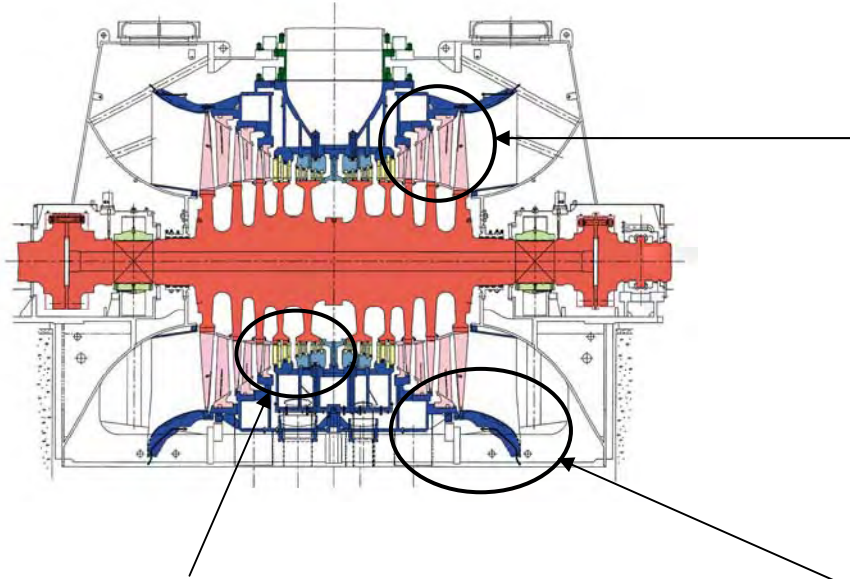
・日本原電 敦賀3, 4号機(54インチ翼: 予定)

敦賀2号機(54インチ翼: 取替中)

40インチ 46インチ

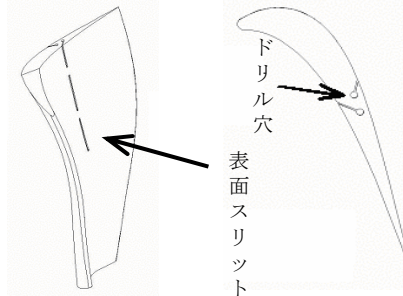


1-5. 高浜3, 4号機 低圧タービン取替えに係る主な改良点(4/4)



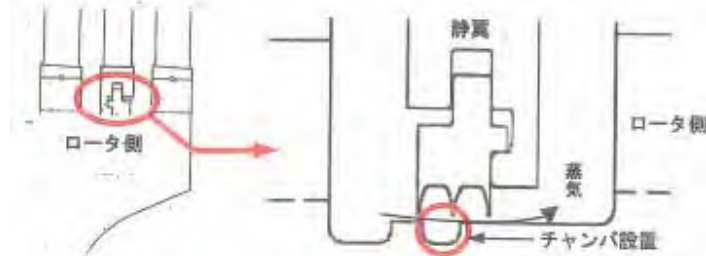
⑤ 中空静翼の採用(効率向上技術)

○湿り蒸気中で発生する湿分を静翼(蒸気出口側2段)に設けた表面スリット及び内部のドリル穴で効率よく除去し、湿り損失を低減させる。



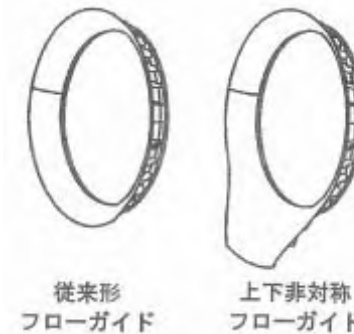
⑦ シール性能の向上(効率向上技術)

○ロータ側表面にチャンバ(くぼみ)を設け、旋回流を発生させることにより、蒸気の流れをチャンバ内に押し込め、流れの抵抗を大きくしてシール効果を向上させる。(上流段静翼)



⑥ 高性能3次元排気室の採用(効率向上技術)

○上下非対称フローガイドの採用により、復水器への排気をスムーズに導き、圧力損失を低減させる。



2. 高浜3, 4号機 低圧タービン取替えに係る検討事項

10

低圧タービンの取替えに伴い、設備の健全性を確認するため、以下を検討した。

検討項目	検討結果
翼の振動	最終段動翼群については共振を回避することを確認した。 その他の動翼については、共振を仮定しても十分に安全な強度を有するように設計している。
強度	低圧タービンの主要部分が設計最大出力状態や定格回転速度の120%状態でも十分な強度を有することを確認した。
耐震性	低圧タービン設備の耐震設計において、地震力によって低圧タービンが転倒しないことや、支持構造物のせん断応力が許容応力を超えないことを確認した。
タービン基礎の影響評価	タービン取替後は重量がわずかに増加するが、基礎構造に影響のないことを確認した。
定格熱出力一定運転状態での健全性評価	翼等の内部飛来物(タービン・ミサイル)により、原子炉設備への影響がないことや、発電機等の電気設備は出力上昇を考慮しても影響のないことを確認した。

2-1. 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)

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、経済産業省原子力安全・保安院の確認を受けることとなっている。

平成19年10月10日に、国に届出した内容は以下のとおり。

○評価に用いた電気出力

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106.6%相当)での蒸気タービンの設計最大出力
電気出力で969.3MW:定格電気出力の111.4%
(定格電気出力870MW)

○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(車軸等の強度評価)
- ・電気設備の健全性評価(発電機の運転制限範囲及び電気出力上限値の評価)

2-1. 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956.1MW(定格電気出力の109.8%)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。

評価項目	評価内容	評価結果※
タービン・ミサイル評価	タービン・ミサイルの発生を想定し、原子炉施設の安全性を評価	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の 10^{-7} /年に比べて小さい値となる。
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調速装置の動作する回転速度未満 ③非常調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105.5%は非常調速装置の動作する回転速度の111%未満 ③最大回転速度の116.1%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956.1MW(定格電気出力の109.8%)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。

3. 浜岡5号機 低圧タービン損傷事象に対する検証(1/2)

○事象の原因(概要)

- ・ランダム振動やフラッシュバックといった流体加振力の重畳により、動翼に過大な繰返し応力が働き高サイクル疲労により蒸気出口側3段目の翼が損傷に至ったものとされている。
- ・これは、設計段階において、タービンの大型化に伴い、外側から1段目と2段目の翼に対してランダム振動を考慮したが、3段目までランダム振動の影響が及ぶことを想定していなかったことによるものとされている。

○保安院の評価

他プラントのタービンについては、

- ・別の型式であること
 - ・これまでに安全運転の実績があること
- から、同様の問題が生じるとは考えられないと評価されている。

	グループ翼	ISB翼	
	<p>数枚の翼を1グループとして、翼頂部のテノンにシュラウドを取付け、グループ毎で固定している</p>	<p>1枚の遠心力による翼の振りもどりを利用し、全周が環状となる</p> <p>翼は一体構造である</p>	
翼	<p>浜岡5号機</p>	<p>高浜3,4号機(取替前)</p>	<p>高浜3,4号機(取替後)</p>
翼根部	<p>フォーク</p> <p>ピン</p>	<p>翼根</p> <p>翼溝</p>	<p>翼根部</p> <p>形状はグループ翼と同じ</p> <p>寸法はグループ翼より大型化</p> <p>翼溝</p>

3. 浜岡5号機 低圧タービン損傷事象に対する検証(2/2)

14

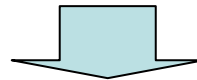
○高浜3, 4号機 取替タービンについて

<設計・開発段階>

- ・低次モードに対しては共振回避、高次モードに対しては共振したとしても強度的に問題ない設計としている。
- ・46インチ実物大翼による回転振動試験を実施し、低次モードでの共振が回避されていることを確認している。
- ・実機を模擬したスケールモデルでの実負荷試験により、実機と同じ状態を模擬して、回転数と同期する振動(ハーモニックス励振力との共振)が問題ないことを確認している。
- ・ランダム振動については、実負荷試験時に振動応力が十分小さいことを確認している。
(流動解析の結果でも、浜岡で損傷した蒸気出口側3段の動翼に渦流が生じていないことを確認)
- ・フラッシュバックについては、実負荷試験時に加振試験を実施し動翼に発生する応力は十分小さいことを確認している。

<運転実績>

- ・46インチ初号機の大飯2号機では、出荷前の実機ロータを用いて共振回避度等の確認を実施している。
- ・46インチ翼については、既に美浜1号機、大飯1,2号機等で10年以上安全に運転された実績を有している。



運開後比較的早い段階で発生している浜岡や志賀と同様の問題は生じることはない