

敦賀発電所2号機

蒸気タービン取替計画について

(浜岡5号機 低圧タービン損傷事象に対する検証)

平成18年12月22日

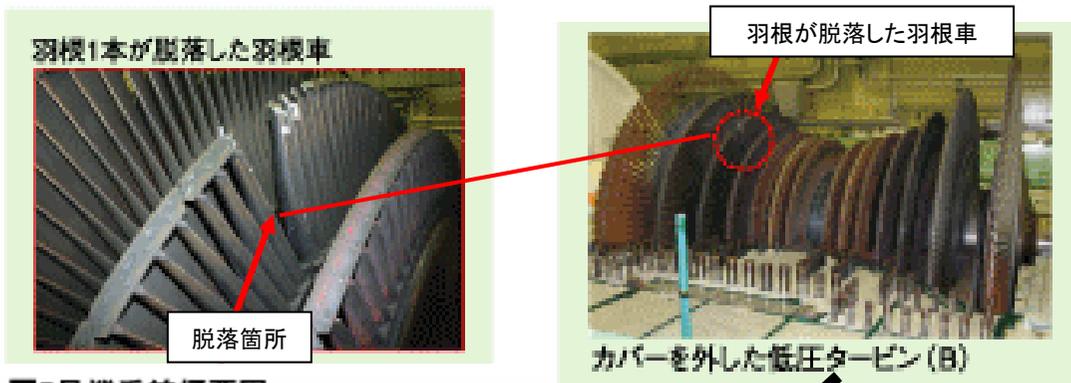
日本原子力発電株式会社

浜岡原子力発電所5号機 低圧タービンの調査結果

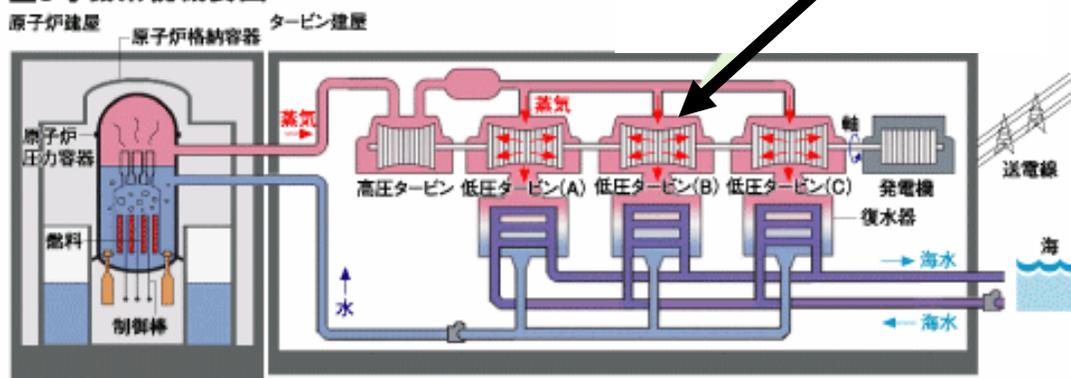
中部電力ホームページより引用

- ・平成18年6月15日 タービンの軸振動の過大により、蒸気タービン停止及び 原子炉自動停止
- ・平成18年6月30日 原子力安全・保安院は、浜岡5号機に対して原因の調査を指示

図1



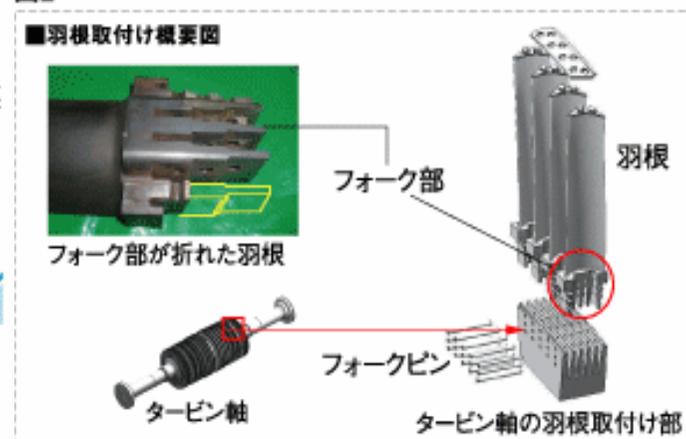
■5号機系統概要図



浜岡原子力発電所5号機
改良型沸騰水型軽水炉 (ABWR)、定格電気出力138万kW、平成17年1月営業運転開始

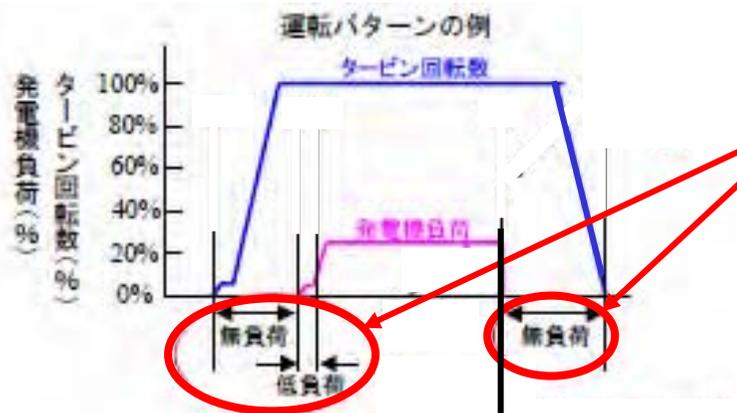
原子力発電所では、原子燃料の核分裂による熱で蒸気をつくり、その力でタービンをまわして発電しています。蒸気は海水で冷やされて水に戻り、繰り返し使われます。

図2



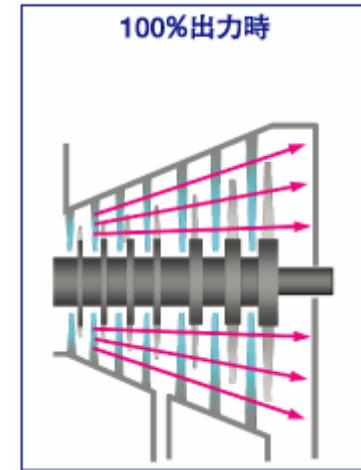
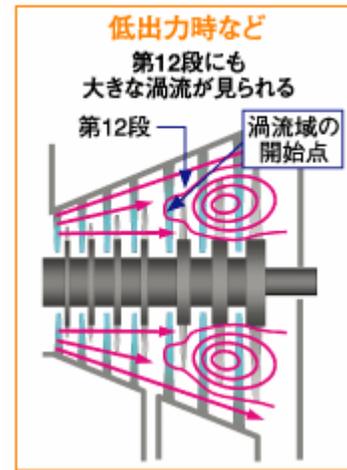
浜岡原子力発電所5号機 低圧タービンの調査結果

中部電力ホームページより引用



ランダム振動

■蒸気の流れのイメージ図



負荷遮断

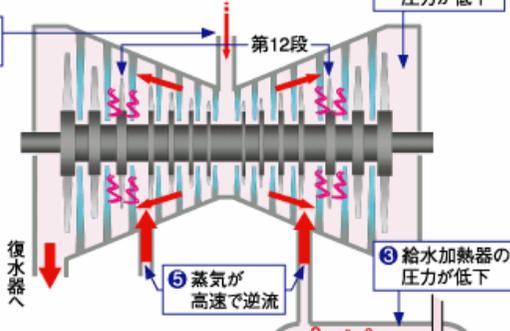
フラッシュバック現象

■フラッシュバックのメカニズム(①~⑤の順)

負荷しゃ断試験時

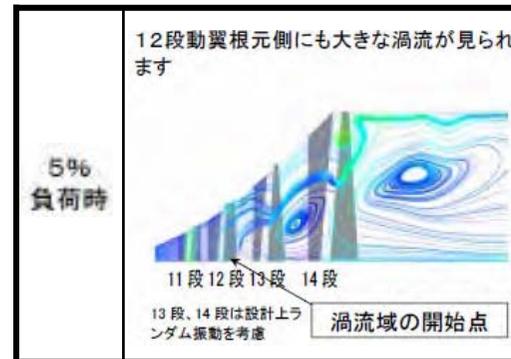
① 蒸気量が減少
または蒸気がしゃ断

② タービン内の
圧力が低下

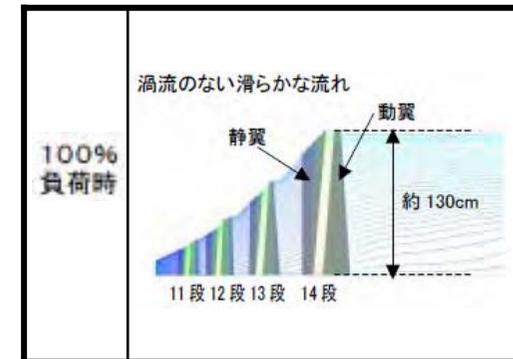


(※) 原子炉の熱効率向上のため、タービンからの蒸気を利用して原子炉へ給水される水を加熱するための機器

低出力時の解析評価結果

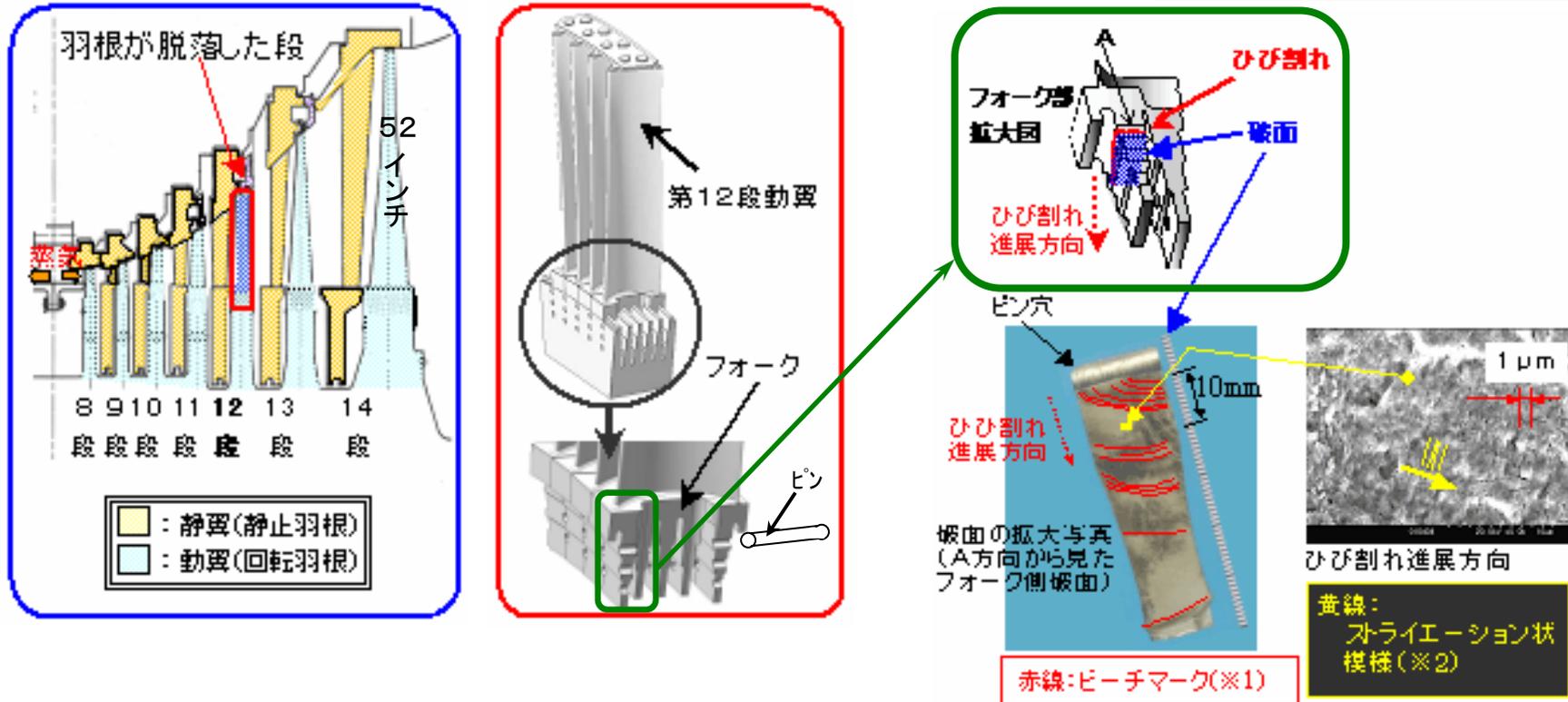


100%出力時の解析評価結果



浜岡原子力発電所5号機 低圧タービンの調査結果

中部電力ホームページより引用



○破面観察結果

第12段羽根の根元取付け部(フォーク)等のひび割れ部の破面観察を行った結果、高サイクル疲労特有の模様(ビーチマーク*1及びストライエーション状模様*2)を確認しました。

- *1 疲労破面において観察される模様で、砂浜に残る波跡に似ているためビーチマークと呼ばれます。これから、き裂伝播方向や進展の履歴を知ることができます。
- *2 疲労破面において電子顕微鏡レベルで観察されるすじ模様で、き裂進展方向に対して直角に並んでいます。

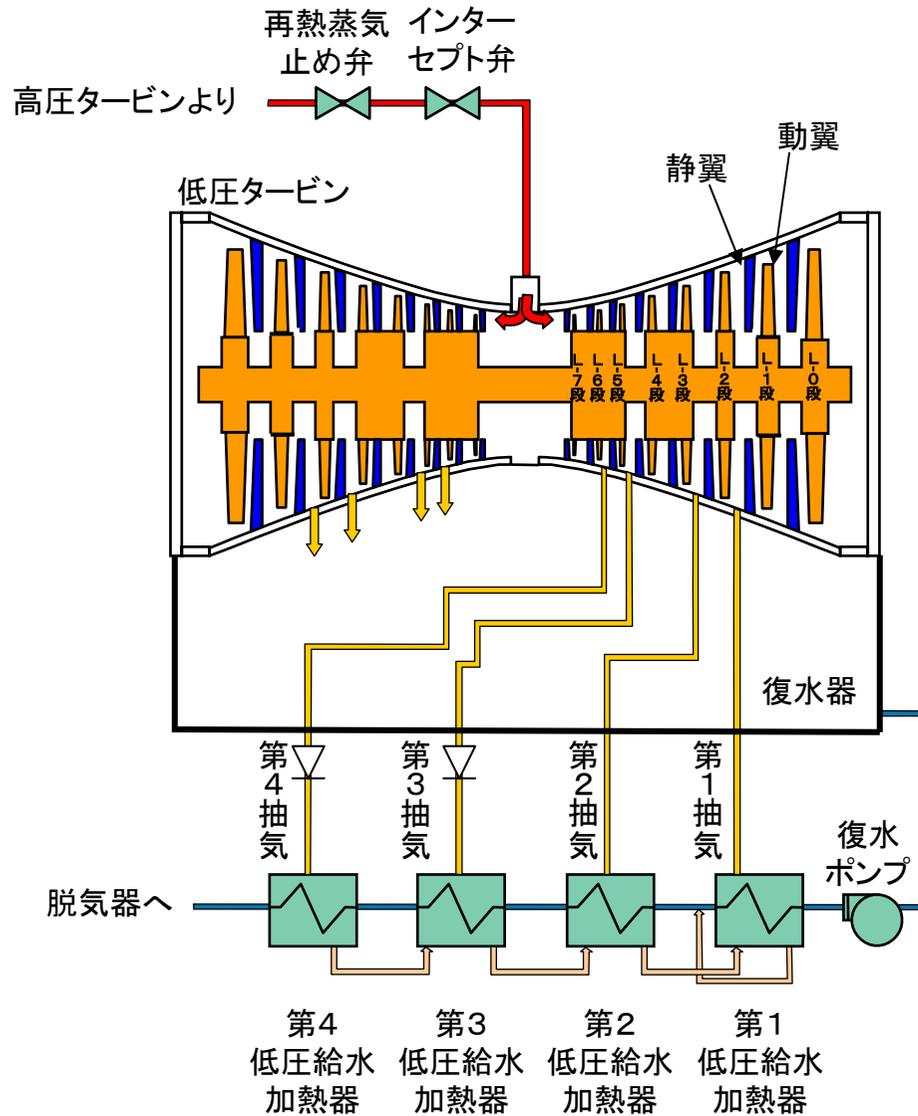
浜岡 5 号機との敦賀 2 号機仕様比較

浜岡 5 号機の低圧タービン動翼の損傷原因は、ランダム振動による応力とフラッシュバック現象の振動応力により高サイクル疲労が発生した可能性がある」と推定されていることから、浜岡 5 号機と敦賀 2 号機との仕様について比較を行った。

		浜岡 5 号機	敦賀 2 号機	参照頁
工事の種別		新設	取替	5
設計	ランダム振動	最終翼から 2 段目までの振動を評価	最終翼から 4 段目までの振動を評価	6 ~ 9
	フラッシュバックによる振動	知見を認識	知見を認識	
その他	翼構造	動翼はグループ翼	動翼は I S B 翼 (注 1)	1 0
	最終翼長	52 インチ	54 インチ	

注 1 : I S B (Integral Shroud Blade) とは遠心力による翼の振りもどりを利用して、シュラウド (翼外周の板) を噛み合わせることで全周綴りとなる翼構造

敦賀2号機 取替前後比較図

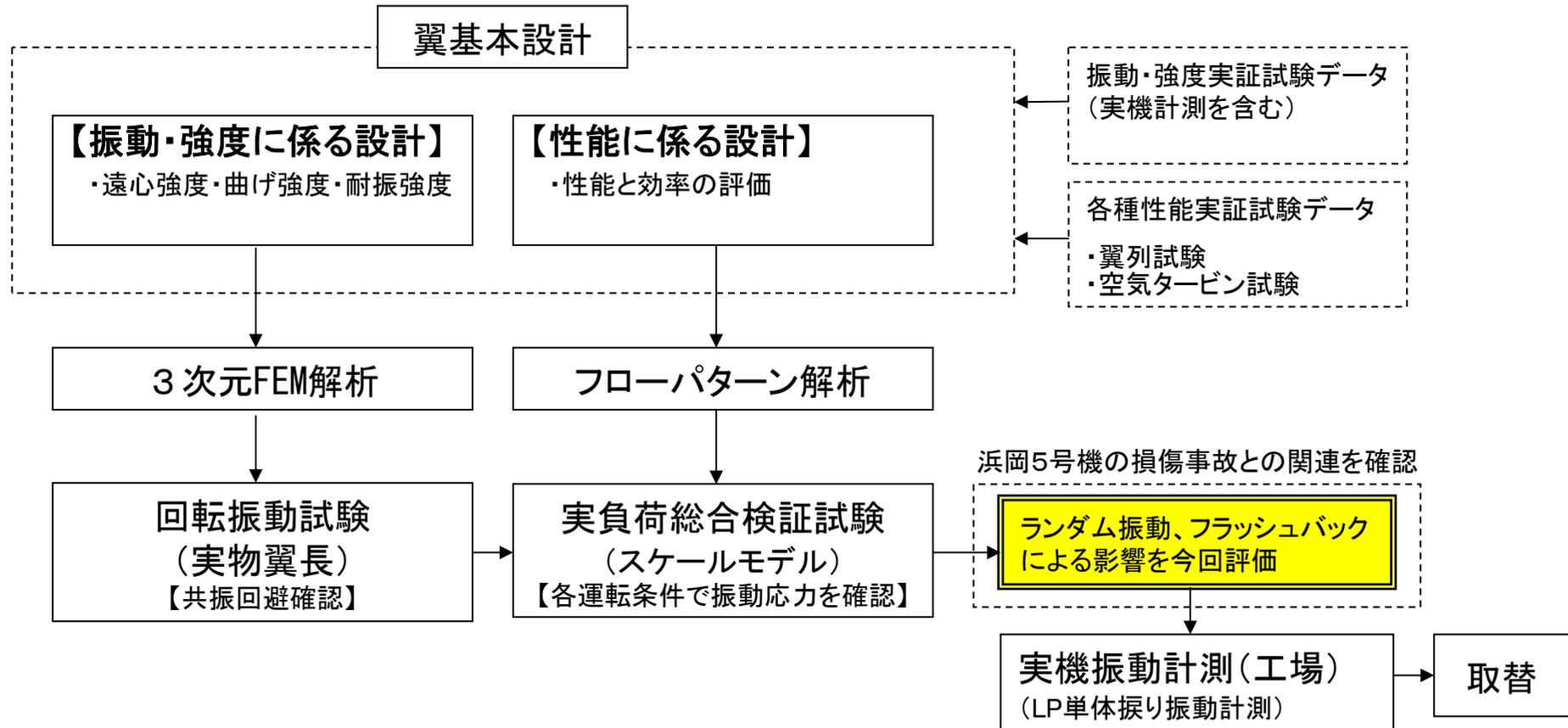


		取替前	取替後
抽気圧力 (Mpa abs)	第1抽気 (L-2段 動翼後)	約 0.05	同左
	第2抽気 (L-3段 動翼後)	約 0.1	
	第3抽気 (L-5段 動翼後)	約 0.3	
	第4抽気 (L-6段 動翼後)	約 0.5	
翼長 (mm)	L-0段 動翼	約 1,118	約 1,375
	L-1段 動翼	約 747	同左
	L-2段 動翼	約 433	
	L-3段 動翼	約 288	
	L-4段 動翼	約 217	
	L-5段 動翼	約 152	
	L-6段 動翼	約 123	

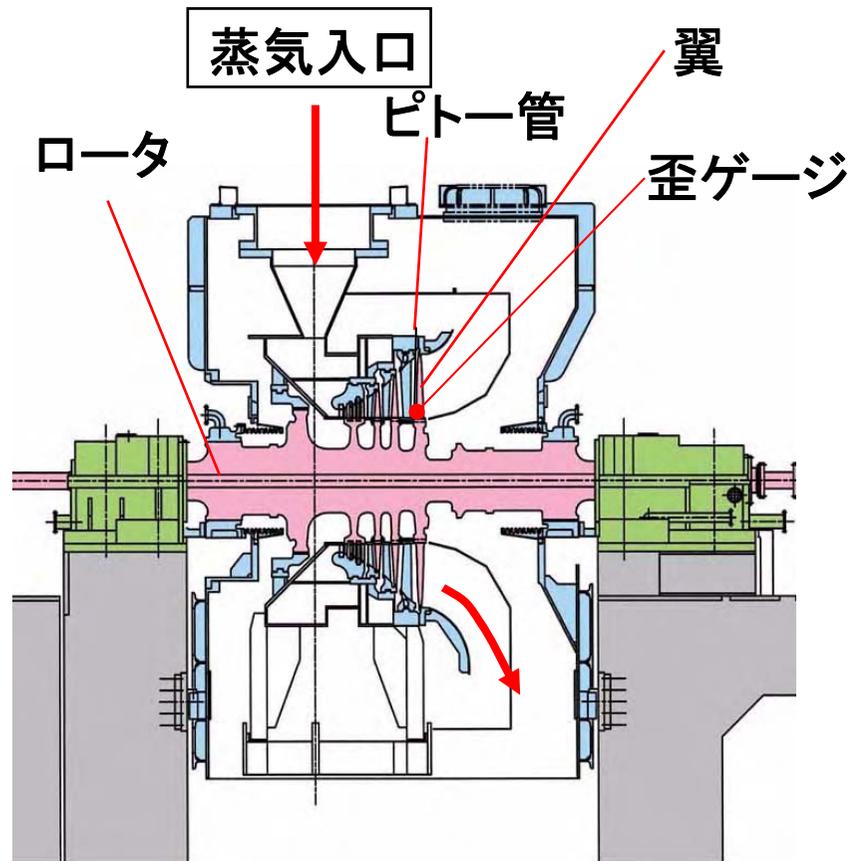
※表記に示す翼の段数は、最終段をL-0段とし、以降順次L-1、L-2・・・L-7と呼ぶ。

敦賀2号機 蒸気タービン翼の開発検証フローチャート

取替翼の開発では、以下に示すフローチャートにより検証が行われている。
今回のタービン取替設計においては、浜岡5号機の損傷原因に対して検証を加えた。



実負荷総合検証試験



試験装置断面図

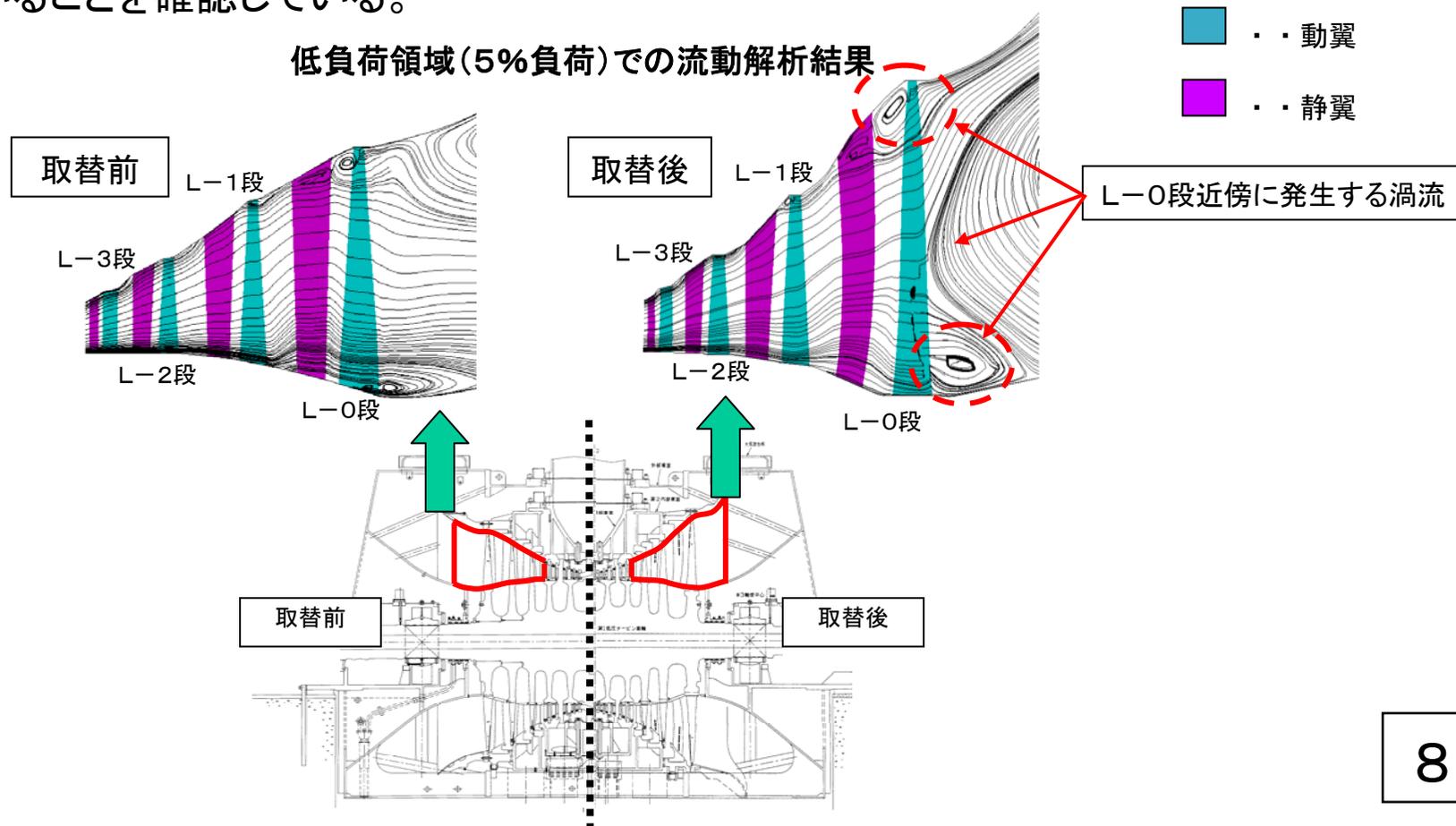
蒸気を使用して、約1/2スケールモデルにより、動翼L-0～L-3段の振動応力を歪ゲージにて測定し、実機を評価している。



54インチスケールモデルロータ

ランダム振動の影響評価について

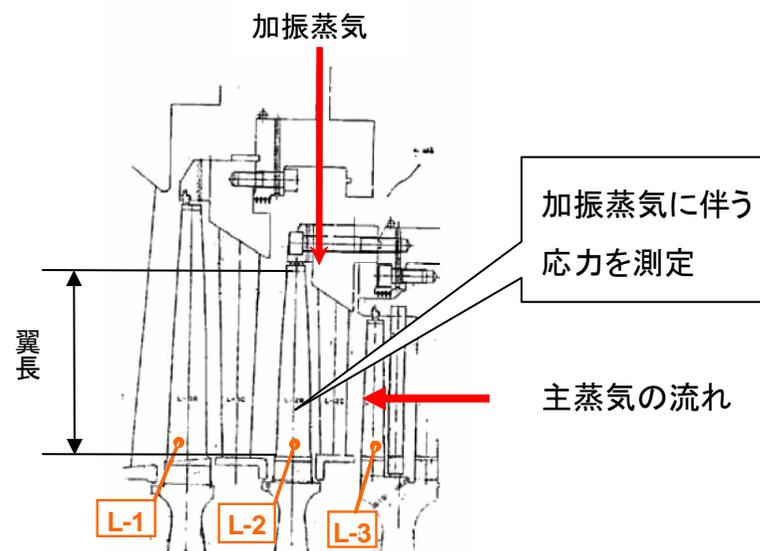
浜岡5号機の損傷原因から、低負荷領域(5%負荷)での流動解析を今回実施した結果、敦賀2号機低圧タービンでは、取替前後のいずれも、浜岡5号機で損傷した動翼と同様なL-2段動翼にランダム振動の原因となる渦流は生じていないことを確認した。また、L-0段近傍には渦流は発生しているものの、翼設計において十分な強度を有していることを確認している。



フラッシュバックの影響評価について

今回のタービン取替設計において、抽気系統への設計条件を取替前後で変更していないことから、フラッシュバックによる加振力が動翼に与える影響は取替前後で変わらない。

なお、ISB翼の開発段階において、加振蒸気を入れてフラッシュバックと同様な加振試験を実施した結果、動翼に発生する応力は小さいことを確認している。

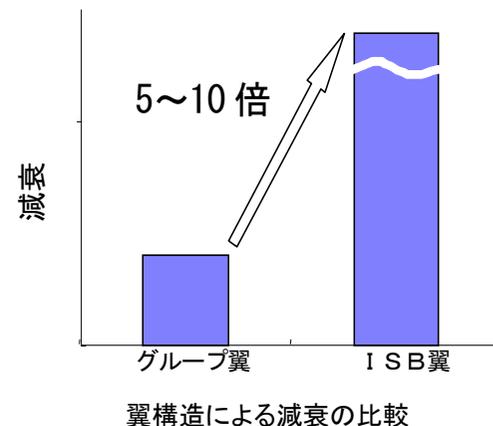


加振試験装置
(L-2段動翼として約500mmのものを採用)

翼構造による減衰の比較

ISB翼はグループ翼に比べ、蒸気加振力に対する減衰が大きく、翼根部に発生する振動応力は小さい。

	<p>グループ翼</p> <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>ISB翼</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>敦賀2号機(取替前)</p>	<p>敦賀2号機(取替後)</p>
	<p>翼根部</p>		<p>翼根部</p> <ul style="list-style-type: none"> ・形状はグループ翼と同じ ・寸法はグループ翼より大型化



実負荷総合検証試験において、翼に発生する振動応力は、疲労限界に対して10倍以上の安全率を有していることを確認している。

ま と め

浜岡5号機の低圧タービン動翼の損傷原因として報告されている、低負荷時に発生するランダム振動及び負荷遮断時に発生するフラッシュバック蒸気による翼の加振について、敦賀2号機に採用する翼の健全性を確認した。

ランダム振動	低負荷領域(5%負荷)での流動解析の結果、取替前後においてL-2段動翼にはランダム振動の原因となる渦流は生じていないことを確認した。また、L-0段近傍には渦流は発生しているものの、翼設計において十分な強度を有していることを確認している。
フラッシュバック	抽気条件の設計はタービン取替前後で変更していないことから、フラッシュバックが翼に与える影響は、取替前後で変わるものではない。今回、ISB翼を採用することにより翼に発生する応力を低減させている。なお、加振試験の実施結果からも、加振蒸気による発生応力は小さいことを確認している。
評価	ランダム振動やフラッシュバックにより発生する応力は、十分小さいものであり、同時に発生した場合でも損傷に至るような応力は発生しないと評価する。 ランダム振動及びフラッシュバックに係わる対策は十分行われていると考えるが、今後、製作が完了した時点で、実機の振動特性確認を行う等の慎重な対応を実施していく。