

# 浜岡3号機、4号機 低圧タービン動翼取付部(動翼側)の点検結果および原因と対策について

## 1. 事象の概略

浜岡4号機低圧タービン動翼取付部(車軸側)の磁粉探傷検査をおこなうため、動翼取付部(動翼側)を取り外したところ、動翼取付部(動翼側)の一部に割れおよびひびを確認しました。また、浜岡4号機の結果を受け、浜岡3号機の同部位について超音波探傷検査をおこなったところ、同様に有意な指示波形を確認しました。

このたび動翼取付部(動翼側)の調査結果をとりまとめましたので、以下のとおりお知らせいたします。

## 2. 調査結果について

■超音波探傷検査で有意な指示波形を確認した3号機低圧タービンの動翼取付部(動翼側)について、目視検査および磁粉探傷検査を実施しました。その結果、ひびや割れは確認されず、超音波探傷検査で得られた有意な指示波形は、動翼の機能に影響のない擦り傷を検出したものであることを確認しました。

■4号機低圧タービン動翼取付部(動翼側)の超音波探傷検査および磁粉探傷検査などを実施したところ、低圧タービン(C)の発電機側第11段の144本の動翼のうち、19本にひびを確認しました。また、低圧タービン(A)～(C)の第12段の計900本の動翼のうち、10本に割れ、107本にひびを確認しました。(表1、図1参照)

表1

4号機 低圧タービン		(A)		(B)		(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
第11段動翼(144本)	フック部	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	ひび: 19本
	スカート部	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
第12段動翼(150本)	フック部	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
	スカート部	異常なし	ひび: 3本	異常なし	割れ: 5本 ひび: 58本	割れ: 1本 ひび: 15本	割れ: 4本 ひび: 31本

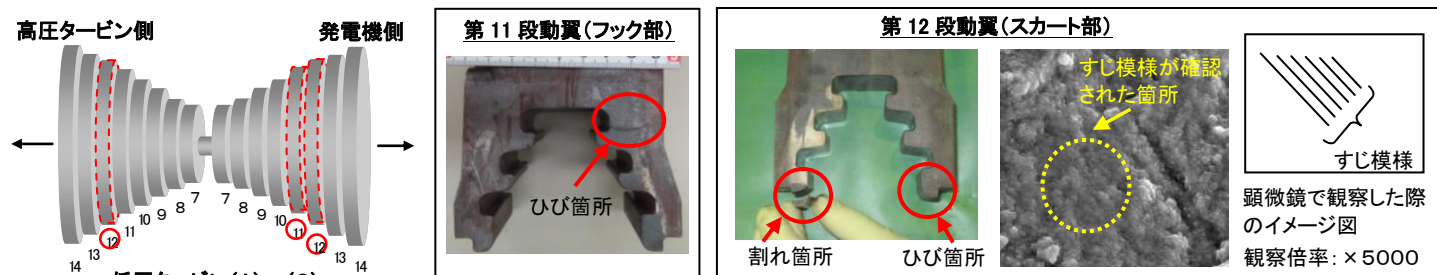


図1 動翼取付部(動翼側)点検結果

■ひびおよび割れを確認した部位の顕微鏡による表面観察を実施した結果、破面に高サイクル疲労の特徴を示す細かいすじ模様(ストライエーション)を確認しました。また、低圧タービン(C)第11段で発生していたひびについては、先端部まで錆等が付着しており、新しい金属破面は確認されていないことから、過去に発生したひびが至近に進展していないと推定しました。(図1参照)

## 3. 割れ・ひびが発生した原因について

■高サイクル疲労の特徴を確認したことから、高サイクル疲労割れの発生について評価しました。評価の結果、動翼の固有振動数(振動体を自由に振動させたとき、その振動体を示す固有の振動数)とタービンの回転周波数(1秒間に30回転: 30Hz)の9倍および11倍の周波数が近接していることを確認しました。そのため、共振が発生して振動応力が増大し、高サイクル疲労割れが発生したものと推定しました。(図2、3参照)

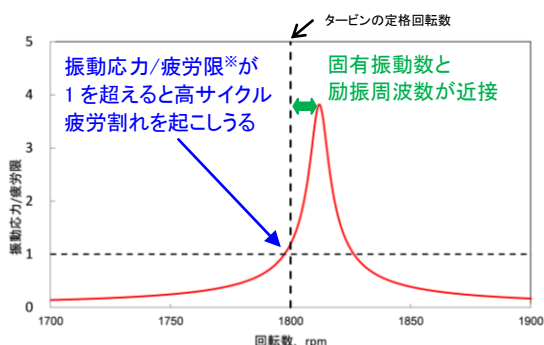


図2 第11段動翼(フック部)の固有振動数と励振周波数

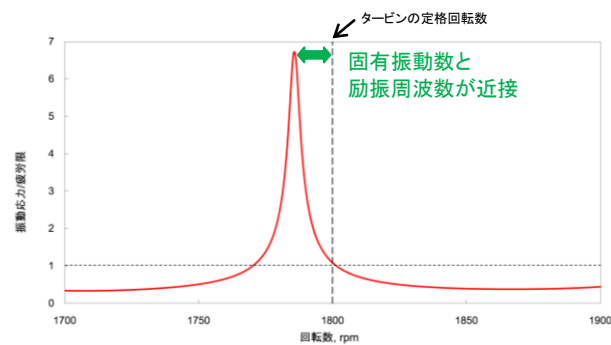


図3 第12段動翼(スカート部)の固有振動数と励振周波数

※疲労限: 高サイクル疲労が発生しない振動応力の上限值

■動翼の固有振動数とタービンの回転周波数の整数倍(以下、「励振周波数」という。)の周波数が近い場合、共振が発生する可能性があるため、設計時には動翼の固有振動数について確認をおこないますが、8次(タービンの回転周波数の8倍)以上の励振周波数については、過去の運転実績から影響が少ないものとして確認していませんでした。

■第11段の動翼は、過去に共振による振動応力を低減する対策として動翼の綴り本数を変更(4本から16本)を実施しています。当該部のひびは、至近に進展していないことから、動翼の綴り本数を変更する以前に共振が発生し、高サイクル疲労割れが発生したものと推定しました。(図4参照)

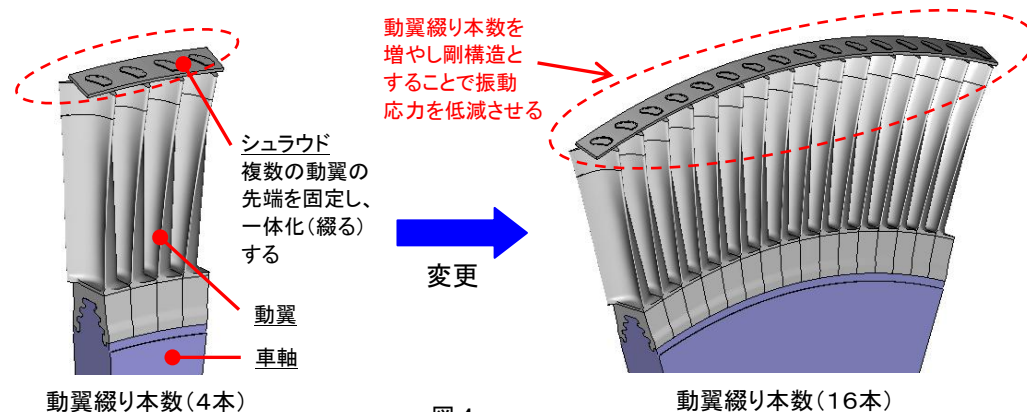


図4

## 4. 対策について

動翼の設計にあたっては、8次以上の励振周波数についても考慮し、高サイクル疲労割れを防止する設計を採用してまいります。また、動翼取り替え後は、動翼の固有振動数を確認し、共振による振動応力の増大の影響を確認してまいります。具体的な対策については、以下のとおりです。

### (1) 第11段動翼取付部(動翼側)

低圧タービン(C)第11段 動翼取付部(動翼側)に発生したひびは、動翼綴り本数を変更する前に発生したものであり、動翼綴り本数を変更(4本から16本)した現状の動翼について応力解析を実施した結果、動翼フック部に発生する応力は高サイクル疲労を発生しうる振動応力よりも十分小さく、設計変更せずに復旧可能であることを確認しました。ひびを確認した動翼については新品取り替えをおこないます。(図5、6参照)

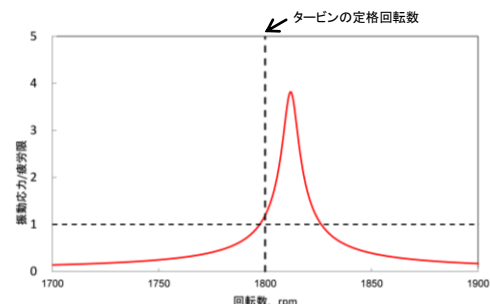


図5 第11段動翼綴り本数4本の固有振動数と励振周波数

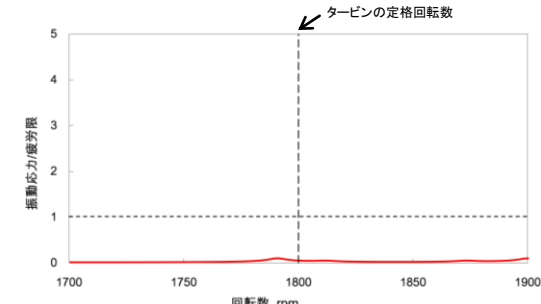


図6 第11段動翼綴り本数16本の固有振動数と励振周波数

### (2) 第12段動翼取付部(動翼側)

第12段は動翼取付部(車軸側)の対策により圧力プレートを設置することから、その間は動翼をすべて取り外して運転します。圧力プレートを撤去して運転する際には、動翼の新品取り替えをおこないます。取り替えにあたっては、動翼綴り本数を変更(6本から11本または13本)して振動応力を低減する設計とするとともに、取り替え後の動翼の固有振動数を確認し、共振による振動応力の増大の影響を確認してまいります。(図7～9参照)

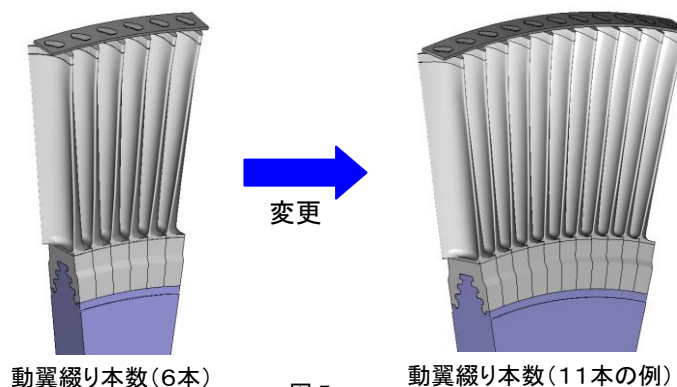


図7

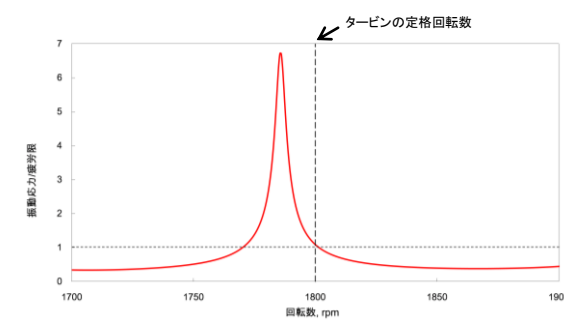


図8 第12段動翼綴り本数6本の固有振動数と励振周波数

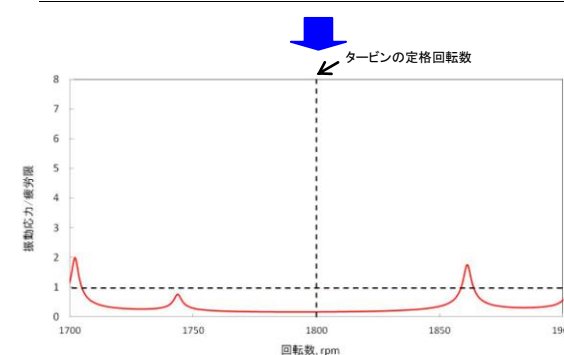


図9 第12段動翼綴り本数11本の固有振動数と励振周波数