

# 浜岡原子力発電所5号機低圧タービン損傷事象の長期的対策

## Permanent countermeasures for the low-pressure turbine rotor damage of Hamaoka nuclear unit 5

中部電力(株)	河原将志	Masashi Kawahara	Member
中部電力(株)	代田寿彦	Toshihiko Shirota	Non-Member
(株)日立製作所	柴下直昭	Naoaki Shibashita	Non-Member

The low pressure turbine blades and rotor of Hamaoka nuclear unit 5 were damaged unexpectedly due to random vibration and steam-flashback vibration in June 2006. The permanent reliability of the new blades were confirmed, base on the knowledge gained from the accident and our verification test.

**Keywords:** Random vibration, Steam-flashback vibration

### 1. 緒言

中部電力浜岡原子力発電所5号機(以下、「浜岡5号機」)(静岡県御前崎市)は、平成18年6月15日8時39分定格熱出力一定運転中(電気出力1406MWe)に低圧タービン(B)発電機側第12段(下流側から3段目)の動翼1本がフォーク部から脱落し、「タービン振動過大」によりタービンが自動停止した。

調査の結果、同タービンは低負荷時に逆流域が第12段まであり、ランダム振動の影響があること、また負荷急変時には給水加熱器からの逆流(フラッシュバック)により、動翼に大きな振動応力が発生することが判明した。特に建設時に実施した20%負荷しゃ断試験(当時2回実施)においては、これらが同時期に発生することで重畳し、疲労限を超える振動応力がフォーク部に作用することが確認され、本事象の原因と推定した。長期的対策としては、第12段動翼を新たに設計(以下「新翼」)した上で低圧タービンロータを取替える計画としている。

本報告は、新翼の設計、強度信頼性の検証として実施した検証試験、およびその結果について述べたものである。

### 2. 新翼の設計

#### 2.1 基本方針

浜岡5号機は既存プラントであるため、タービンの車室、噴口等の基本形状の変更を要する逆流域の改善  
連絡先：河原将志、〒437-1695 静岡県御前崎市佐倉5561  
中部電力(株)浜岡原子力発電所 保修部 保設計画課  
電話：0537-86-3481、e-mail：Kawahara.Masashi@chuden.co.jp

およびフラッシュバックの低減は困難なことから、これら非同期振動に耐え得る動翼構造による対策を図ることとした。また、プラント全体の熱サイクルへ影響を与えないように、設計条件は従来翼採用時と同一とし、損傷事象が第12段特有の事象であったことから、その他の段落の動翼については、原設計のまま新製することとした。

#### 2.2 新翼の構造

一般的な設計方針として、非同期振動の対象段落については、動翼に作用する振動応力低減のため、従来から高減衰の動翼連結構造を採用している。浜岡5号機についても第13段、14段(下流側から2段)は、非同期振動の対象段落として従来翼採用時から高減衰構造としている。第12段従来翼では、設計当時の従来知見より非同期振動の対象段落としていなかったことから、剛構造(テノンシュラウドタイプ(図1))を採用していたが、損傷原因の調査の結果より非同期振動の対象段落であることが確認できたことから、新翼は高減衰構造を採用することとした。

高減衰構造はルースタイワイヤタイプと、隣り合う動翼の先端部カバーが接触する全周1リングタイプ(図2)(以下、「CCB(Continuous Cover Blade)タイプ」)があり、浜岡5号機の第14段はルースタイワイヤタイプ、第13段はCCBタイプを採用している。減衰効果ではCCBタイプが最も優れており(過去に実施した試験結果では前者と比較し2.5倍以上)、新翼はCCBタイプを選定した。CCBタイプ採用に伴い、従来翼比較して動翼の重量が低減したことから、フォーク部の平均遠心応力の低下により疲労限が1.2倍に向上した。

動翼溝構造については、製作メーカーの実績および遠心強度から従来翼と同じフォークタイプとした。

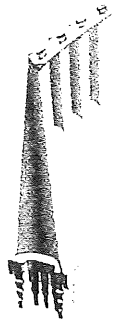


図1 従来翼  
(テノンシュラウドタイプ)



図2 新翼  
(CCBタイプ)

### 3. 新翼の強度信頼性検証

#### 3.1 検証

新翼の強度信頼性検証は、最新の解析技術、モデル試験を用いて評価した。モデル試験は、動翼の基本特性（固有振動数、減衰比等）を検証するための実機大モデル回転試験、動翼に作用する流体加振力に起因する振動応力および逆流域を検証する縮小モデル蒸気試験を実施した。また、縮小モデル蒸気試験については、新翼の強度信頼性を相対的に評価するため、同一条件にて従来翼による試験も実施し評価した。

#### 3.2 実機大モデル回転試験

実機大モデル回転試験では、新翼の基本特性として固有振動数を測定し、運転定格回転数において、共振回避マージンから共振点が離調できていることを確認した。また共振応答曲線から算出した減衰比は、従来翼（実機製作時に測定）と比較して約6～8倍の減衰比を有していることを確認した。（図3）

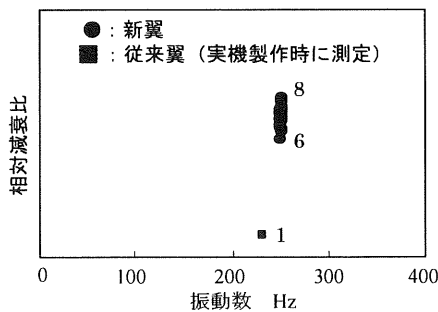


図3 新翼と従来翼の減衰比比較

#### 3.3 縮小モデル蒸気試験

縮小モデル蒸気試験は、従来翼開発時にも実施しているが、損傷原因に対応した試験を可能とするため、以下の点を考慮した。

- ①実機との相似性が確保できること。
- ②フォーク部の振動応力が計測できること。
- ③低負荷運転が可能なこと。
- ④フラッシュバック（実機では給水加熱器からタービンへの逆流）が模擬できること。
- ⑤負荷しゃ断時のタービン回転数挙動が実機を模擬できること。
- ⑥逆流域の影響範囲を計測できること。

縮小モデル蒸気試験の結果、低負荷時の逆流域は損傷事象の原因調査結果（流体解析で究明）と同様、第12段まで及んでいることを確認した。またその時の振動応力は、疲労限の0.1倍（従来翼は疲労限の0.8倍）、ランダム振動にフラッシュバック振動が重畳した振動応力は疲労限の0.2倍（従来翼は疲労限の2倍）であり、新翼の振動応力は疲労限に対して十分裕度を有していることを確認した。また従来翼と比較した結果、フォーク部に作用する振動応力は約1/8に低減（図4）しており、十分な減衰を有していることを確認した。

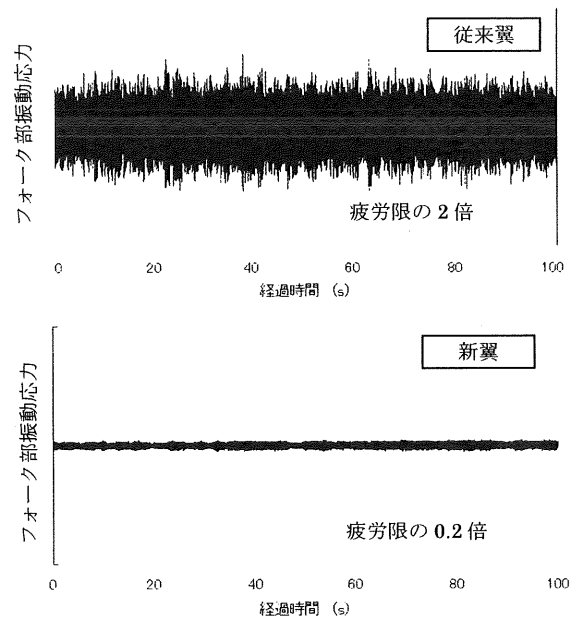


図4 フォーク部振動応力波形  
(ランダム+フラッシュバック振動応力)

### 4. 結言

長期的対策としては、今後新翼を採用した低圧タービンを製作し、平成21年度に実施する定期点検（浜岡5号機第4回定期点検）に取り替える計画としている。新翼の強度信頼性は確保できていると考えるが、フォーク部の異常兆候を通常の点検で検出することができなかったことに鑑み、フォーク部の検査方法、実機への適用性に係る研究を進めていく。