



平成18年10月27日

各 位

会 社 名 中部電力株式会社
代 表 者 名 取締役社長 三田 敏雄
(コード番号 9502 東証・大証・名証1部)
問 合 せ 先 原子力部業務グループ長 増田 博武
(TEL. 052-951-8211)

浜岡原子力発電所5号機 低圧タービン羽根損傷の原因と対策について

浜岡原子力発電所5号機（改良型沸騰水型、定格電気出力138万キロワット）で発生した低圧タービン第12段羽根損傷事象について、これまで原因の調査および対策の検討を実施してまいりましたが、その結果をとりまとめましたので、お知らせいたします。なお、この結果については、本日、国に報告しました。

1 調査結果について

低圧タービンを点検した結果、低圧タービン（B）の第12段羽根の脱落（1本）を確認するとともに、低圧タービン（A）～（C）のいずれも第12段羽根の根元取付け部（以下、「フォーク部」という。）および車軸の羽根取付け部の一部にひび割れを確認しました。他の段の羽根については、異状は認められませんでした。

損傷した羽根のフォーク部等の破面観察を行った結果、高サイクル疲労^(※1)特有の模様を確認しました。

このことから、今回の事象は5号機低圧タービン第12段羽根特有の事象と推定しました。

高サイクル疲労を発生させた要因は、無負荷および低負荷運転時にタービン内の蒸気流の乱れによって発生するランダム振動^(※2)による応力や、負荷しゃ断試験時等にタービンに給水加熱器内の蒸気が急速に逆流して起こるフラッシュバック現象^(※3)の振動（以下、「フラッシュバック振動」という。）による応力が第12段羽根に作用し、フォーク部が疲労破損した可能性があるかと推定しました。

（平成18年9月12日 公表済み）

2 原因について

ランダム振動およびフラッシュバック振動の応力評価などの結果から、第12段羽根フォーク部の初期のひび割れは、5号機の試運転中に実施した20%負荷しゃ断試験時にランダム振動およびフラッシュバック振動が同時に発生し、それぞれに起因した応力が重なり合って繰り返し作用したことにより、高サイクル疲労によって発生したと推定しています。

その後、ひび割れは、試運転や営業運転中に、ランダム振動またはフラッシュバック振動による応力によって進展しました。脱落した羽根（1本）についてはフォーク部の残存面積がひび割れの進展により減少し、回転に伴う遠心力に耐えきれず破断に至ったものと推定しました。

3 対策について

今回の事象を踏まえ、低圧タービン（A）～（C）のすべての第1 2段羽根（合計8 4 0本）をランダム振動およびフラッシュバック振動を考慮して設計・製作したものに置き換えます。なお、車軸の羽根取付け部にひび割れがあることから、これについても新たに製作します。

羽根の新規設計・製作には検証試験等を含め相当な期間が見込まれます。

したがって、新しい羽根に取り替えるまでの間、対象となる第1 2段羽根を取り外し、代わりに、原子力発電所および火力発電所で使用実績がある「圧力プレート^(※4)」を設置して運転を行います。

今回の圧力プレート設置に関しては、設備等への影響を評価し、安全・安定に運転できることを確認しております。今後、国の設計審査や使用前検査を受けてまいります。なお、運転再開時期については、現時点では未定です。

また、タービン大型化に伴う羽根の設計にあたって、メーカーによる検証が十分でない面があったことから、タービン設計管理面についても改善を図っていきます。

※1 「高サイクル疲労」

金属材料に一定以上の力が1万～10万回以上繰り返し加わることにより、ひび割れが発生・進展し損傷に至る現象です。

※2 「ランダム振動」

タービン内の蒸気流の乱れ（大きな逆流や渦流）によって羽根に発生する不規則な振動で、タービンの無負荷時および低負荷時に発生する現象です。

※3 「フラッシュバック現象」

低圧タービンでは、その蒸気の一部を取り出して、原子炉へ供給する水を加熱しております。この加熱用の蒸気を抽気といいます。発電機の負荷しゃ断やタービンの自動停止が発生すると、タービンに供給される蒸気が急激に減少するため、真空状態の復水器と連結しているタービン内部の圧力が低下し、抽気がタービンに高速で逆流します。これをフラッシュバック現象といいます。なお、負荷しゃ断とは、送電線の故障等により発電を緊急停止することです。

※4 「圧力プレート」

タービンの羽根には動翼と静翼があります。回転する動翼と動翼の間に、蒸気の流れを整えるための回転しない静翼を設置しています。第1 1段の動翼を通過した蒸気は静翼を通り流れが整えられ、第1 2段の動翼を回転させ、次の静翼でまた流れが整えられて、第1 3段の動翼に向かいます。

圧力プレートは、第1 2段の動翼とその手前の静翼を取り外し、静翼の代わりに設置する蒸気の流れを整えるための回転しないプレートです。この圧力プレートは取り外した羽根と同程度に圧力を降下させるとともに蒸気の流れを整える役割を果たすもので、他の羽根に影響のないことを確認しています。

添付資料

- 1 浜岡原子力発電所5号機 低圧タービン第1 2段羽根損傷の原因と対策について
- 2 圧力プレートを設置した運転の概要

浜岡原子力発電所5号機 低圧タービン第12段羽根損傷の原因と対策について

低圧タービン第12段羽根損傷事象について、これまで原因の調査および対策の検討を実施してきましたが、その結果をとりまとめましたので、お知らせいたします。
 なお、この結果については、本日(10月27日)、国に報告しました。

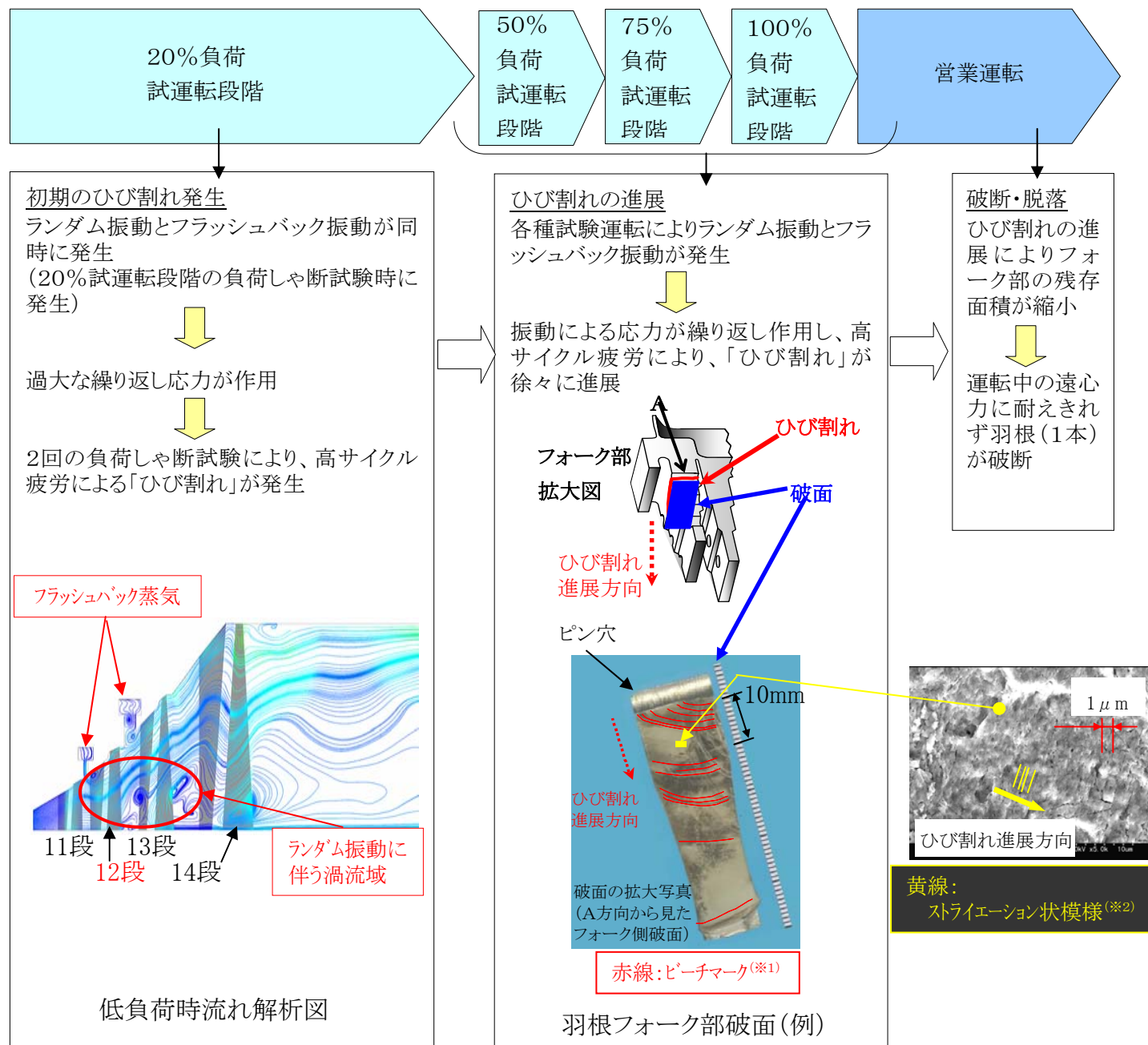
1 調査結果(公表済み)

第12段(外側から3段目)の羽根には、フォーク部に「ひび割れ」「折損」が多数認められました。しかし、第12段以外の段の羽根には異状は認められませんでした。また、損傷した羽根のフォーク部等の破面観察を行った結果、高サイクル疲労特有の模様を確認しました。

このことから、今回の事象は5号機低圧タービン第12段羽根特有の事象と推定しました。

2 原因

ひび割れ発生・進展のメカニズムについて以下のとおり推定しました。



3 対策

(1) 設備面の対策

次の2つの対策を適切に組合せて実施することとします。

対策① 第12段羽根の新規設計・製作

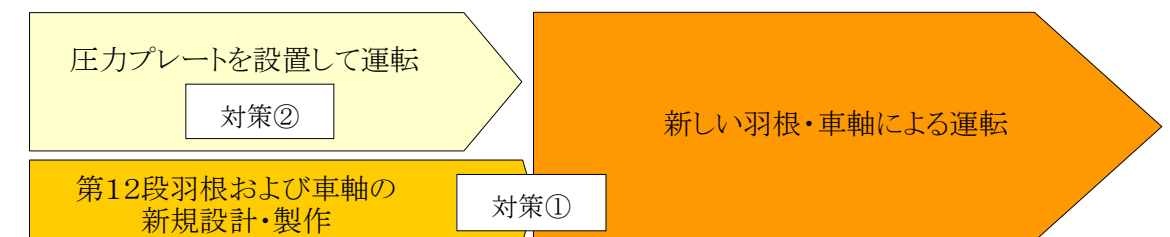
第12段羽根をランダム振動およびフラッシュバック振動の抑制を考慮して、新たに設計・製作したものに置き換えます。設計にあたっては試験・解析等必要な検証を行います。なお、車軸の羽根取付け部にひび割れがあることから、これについても新たに製作します。

対策② 第12段羽根すべてを取り外し、圧力プレートを設置

第12段のすべての動翼・静翼を取り外し、これらと同等の圧力降下を発生させ、同時に流れを整える圧力プレートを設置します。

(詳細は添付資料2「圧力プレートを設置した運転の概要」を参照)

対策①および対策②の組み合わせは次のとおりとし、新しい羽根の設計・製作ができるまでの間は、対策②により運転することとします。



(2) 設計管理面の改善

メーカーによる設計段階において、当時のランダム振動に関する知見から、タービンの大型化に伴い、外側から1段目と2段目の羽根に対してランダム振動を考慮しましたが、外側から3段目(第12段)の羽根までランダム振動の影響が及ぶことは想定していませんでした。この結果、ランダム振動とフラッシュバック振動が、第12段の羽根で同時に起こることを認識できなかったものです。

今後は、タービンの大型化の開発において、従来知見の適用範囲を十分精査し、試験・解析などにより確実に検証を行うようメーカーに要請するとともに、当社としても検証結果等を十分確認してまいります。

以上

(※1) ピーチマークは、疲労破面において観察される模様で、これからひび割れ進展の履歴を知ることができます。

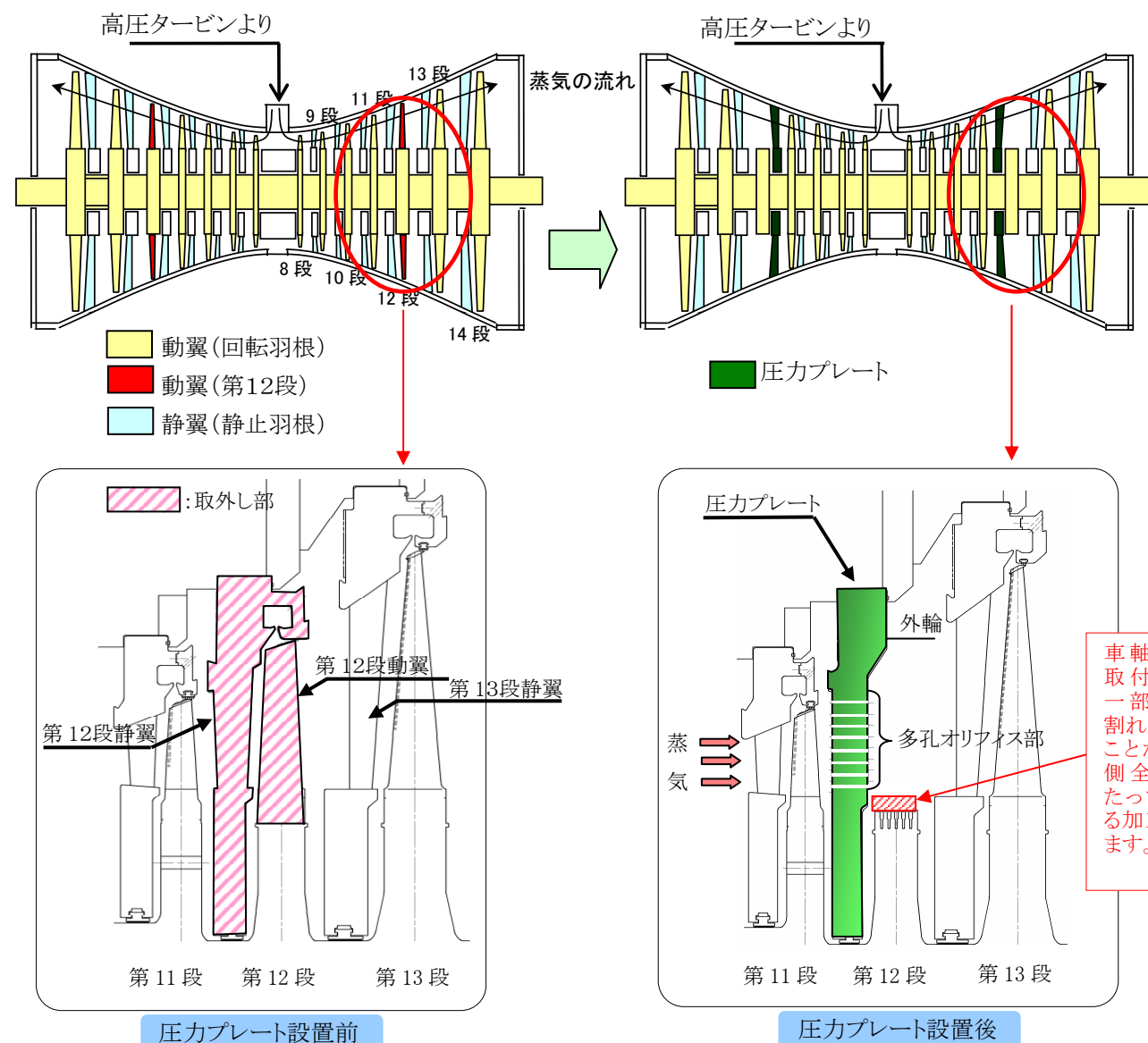
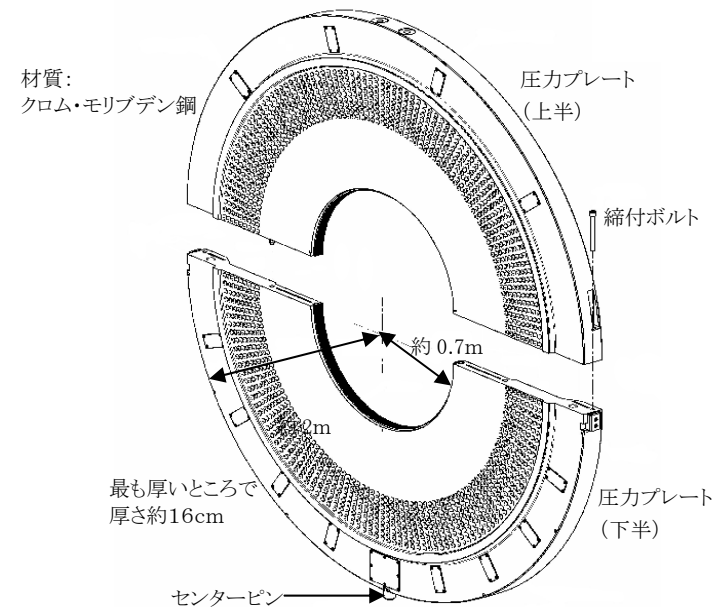
(※2) ストライエーション状模様は、疲労破面において電子顕微鏡レベルで観察されるすじ模様で、進展方向に対して直角に並んでいます。

圧カプレートを設置した運転は、低圧タービンの健全性や原子炉その他発電設備への影響評価等を実施し、安全・安定に運転できることを確認しています。今後、国へ工事計画を届出て圧カプレートを設置した低圧タービンの設計について審査を受けるとともに、据付け前および運転した段階で使用前検査を受検します。

1 第12段用圧カプレートの設置

低圧タービン(A)～(C)の第12段の動翼および静翼を取り外し、第12段静翼の位置に圧カプレートを設置します。圧カプレートは、第12段の静翼・動翼があった時と同じように蒸気の圧力を低下させるとともに、蒸気の流れを整える役割を果たします。

今回対策として用いる圧カプレートは、使用実績のある多孔オリフィス設計^(※1)とします。



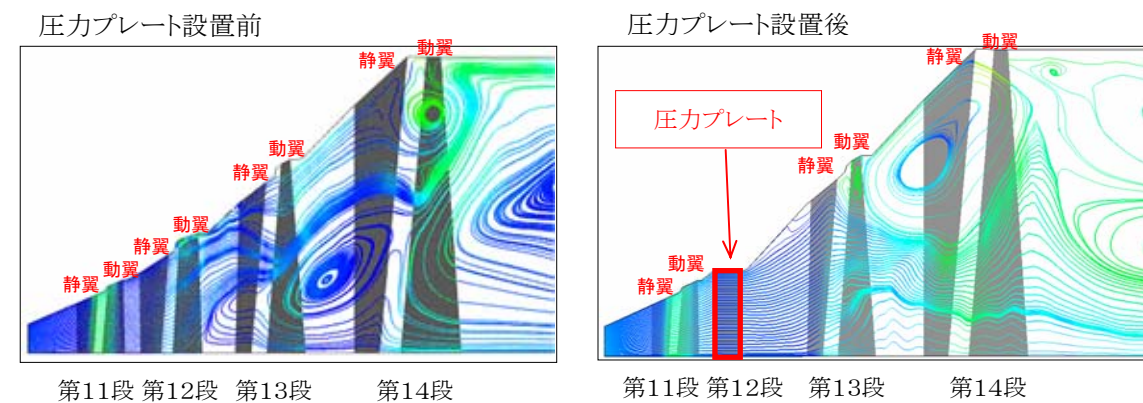
2 圧カプレートを設置した運転における低圧タービンの健全性

圧カプレートは複数の火力発電所や原子力発電所で使用実績があり、これまで安全に運転されてきています。

圧カプレートを設置した場合、ランダム振動については、下図のように圧カプレート設置後の方が、設置前に比べ蒸気の渦流域が小さく、後段である第13段および第14段に対する低負荷時の蒸気の流れ状況も改善されるため、その影響は小さくなります。

また、フラッシュバック振動についても、圧カプレートにより蒸気が整流され、後段への流れの状態を悪化させることはありません。このように、圧カプレート設置による低圧タービンの他の段への影響がないことを確認しています。

◆低負荷時(5%程度) 流れ解析結果



3 原子炉その他発電設備全般への影響評価

原子炉は定格熱出力一定で運転しますので、原子炉の状態は従来と変わりなく、原子炉の安全性や安定性に影響はありません。

圧カプレートの設置により、タービン効率が低下するため、電気出力が定格出力の138万キロワットから約8%低下して約127万キロワットになると評価しています。また、タービン効率の低下により、復水器から海水へ放出される熱量がわずかに増加します。しかし、この放出される熱量を今回評価し、温排水による環境影響が建設前に実施した評価結果と変わらないことを確認しています。

4 国による確認、検査

圧カプレートを設置した低圧タービンの設計について、今後、国へ工事計画を届出て審査を受けます。また、据付け前および運転した段階で国の使用前検査を受検します。

5 圧カプレート設置後の措置

圧カプレートの設置後は、運転中のタービン軸振動、給水加熱器内圧力^(※2)、取放水温度差等の監視を強化し異状のないことを確認するとともに、次回定期検査時に低圧タービン(A)～(C)を開放して点検し、羽根や圧カプレートなどに異状のないことを確認します。

以上

(※1) 多孔オリフィス設計は、プレートに多数の小さな孔を開け、減圧と整流の機能を持たせるようにしたものです。

(※2) 給水加熱器は、タービンから蒸気の一部を取り出して原子炉へ供給する水を加熱する設備です。この加熱蒸気の圧力を監視することにより、第12段前後の第11段および第13段への影響の有無を確認します。