

志賀原子力発電所 2 号機 低圧タービンの羽根損傷の原因と対策 および設備の総点検について

平成18年10月27日
北陸電力株式会社

当社は、志賀原子力発電所 2 号機（改良型沸騰水型、定格電気出力 1 3 5 万 8 千キロワット）低圧タービンの羽根損傷について、このたび、原因と対策について取りまとめ、国へ報告書を提出いたしました。

また、今回の低圧タービン羽根損傷、高圧タービン内の粒状金属発見等の事象を踏まえ、当社は、志賀 2 号機設備全般の健全性について確認するため、設備の総点検を行うことといたします。さらに第 1 回定期検査を前倒しすることにより、この総点検の徹底を図ることといたします。

1. 低圧タービンの羽根損傷の原因と対策

(1) 原因

a. 破面観察結果

低圧タービン羽根の根元取付け部のひび割れの破面観察を行いました。

破面観察の結果、高サイクル疲労^{*1}特有の貝がら模様や縞模様が観察されました。志賀 2 号機の試運転履歴との比較を行ったところ、この貝がら模様の間隔と試運転履歴に相関関係が認められました。

b. 損傷原因

高サイクル疲労によるひび割れが発生した原因について調査したところ、試運転中に実施した電気出力 20% 負荷しゃ断試験^{*2}時の低圧タービン内における「蒸気流の乱れによる不規則な振動（ランダム振動）による応力」と「一時的な蒸気の逆流（フラッシュバック）による羽根の振動による応力」が重なり合ったことにより初期のひび割れが発生し、その後の低負荷運転・負荷しゃ断試験等に伴い繰り返し加わった応力により、割れが進展したものと特定いたしました。

c. 設計検証

羽根の開発当時、メーカーは低負荷運転時にランダム振動が 1 2 段まで及ぶことを認識していなかったため、フラッシュバックと重なり合

う事象を想定できなかったものであり、羽根設計段階での検証が十分ではありませんでした。

(2) 対策

a. 設備面の対策

ランダム振動およびフラッシュバックの発生を考慮した振動応力に対して余裕をもつタービンの羽根を新たに設計し、実機運転状態を模擬した実証試験などの入念な検証を行った後、新しい羽根を製作します。

なお、新しい羽根の製作には、実証試験等を含め相当な期間が見込まれることから、その間の電力安定供給に支障をきたさないようにするため、低圧タービン12段の静翼および動翼を全て取り外し、代わりに、原子力発電所や火力発電所で使用実績がある整流板^{*3}を設置することとし、今後、国の審査や検査を受け、地域の皆さま方の理解をいただきながら、運転開始に努めてまいります。

b. 設計面の対策

135万8千kWの大型タービンを開発した当時、新技術採用に当たっての検証が十分でなかったことから、安全機能・供給信頼性上の重要な設備について実証試験または解析を十分行うことや設計変更による不具合発生を防止するため、その根拠や妥当性を幅広く検証・評価することをメーカーに求め、その実施状況を確認してまいります。

また、当社は、今回の事象を踏まえて、タービン設計管理に関する教育の充実を図ってまいります。

2. 設備の総点検

今回の低圧タービン羽根損傷、高圧タービン内の粒状金属発見等の事象を踏まえ、志賀2号機の設備全般の健全性について確認するため、来年4月末までを目途に、発電を停止したまま、タービン設備をはじめ、発電所設備全般にわたり総点検を行うこととし、さらに4月から予定していた第1回定期検査を2月に前倒しして実施することにより、この総点検の徹底を図ることといたします。また、品質管理の点検とさらなる改善を図ってまいります。

なお、この停止期間中に、さらなる安全性の向上に努める観点から耐震裕度向上工事を併せて実施してまいります。

当社といたしましては、今後より一層、志賀原子力発電所の安全確保に取り組み、地域の皆様方に信頼され、安心される発電所を目指してまいります。

以上

添付資料 - 1 : 低圧タービンの羽根損傷の原因と対策

添付資料 - 2 : 整流板設置による運転の概要

添付資料 - 3 : 設備の総点検

* 1 高サイクル疲労

金属材料に力が高サイクル（一般に 10^4 回以上）で繰り返し加わると、その応力が材料の静的強度に比べて低い応力でも、割れが発生する現象

* 2 負荷しゃ断試験

送電線の故障等で電気が送れなくなった場合を想定し、発電を瞬時に停止して発電所の安全性を確認する試験

* 3 整流板

静翼・動翼の替わりに取り付けて、静翼・動翼がある場合と同等の圧力降下と整流効果をもたせる多数の穴が開けられている板

低圧タービンの羽根損傷の原因と対策

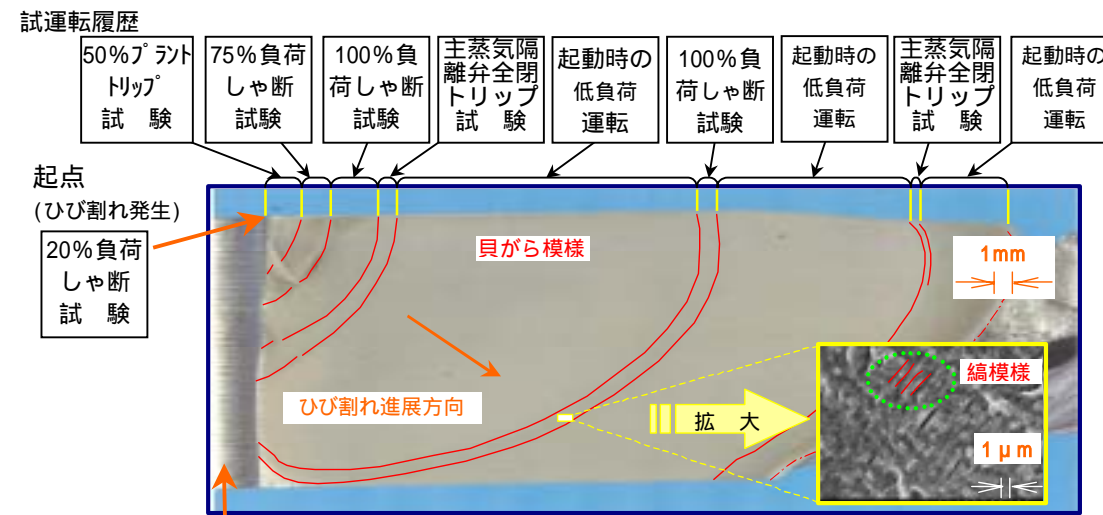
1. 低圧タービンの点検結果（公表済み）

低圧タービン（A）～（C）12段の羽根840枚のうち、258枚の羽根根元取付け部に「ひび割れ」「折損」が認められましたが、それ以外の段の羽根および車軸等には、ひび割れ等の異状はありませんでした。

2. 原因

(1) 破面観察結果

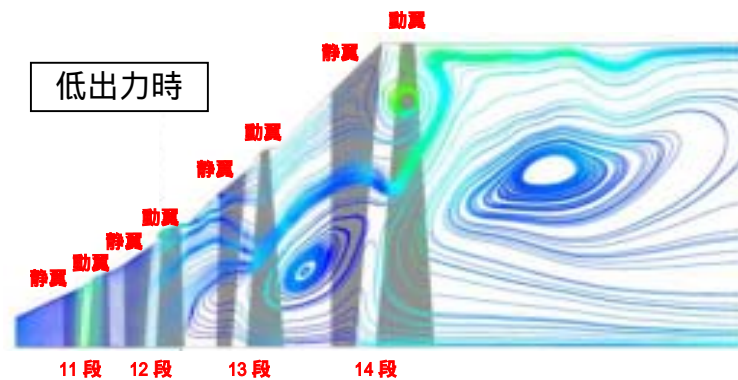
高サイクル疲労特有の貝がら模様や縞模様が観察されました。志賀2号機の試運転履歴との比較を行ったところ、この貝がら模様の間隔と試運転履歴に相関関係が認められました。



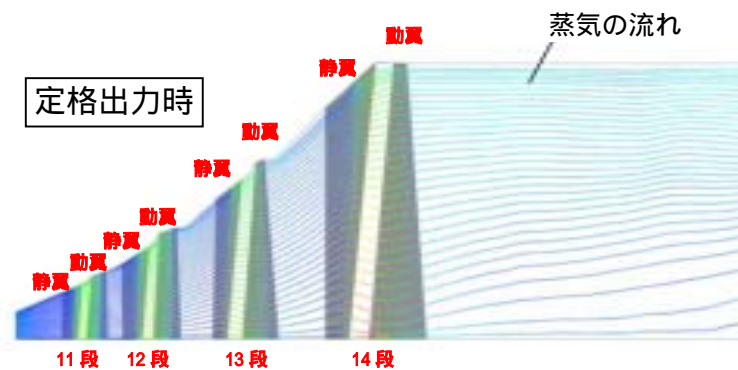
止めピンを挿入 ひび割れの破面状況と試運転履歴の関係

(2) 損傷原因

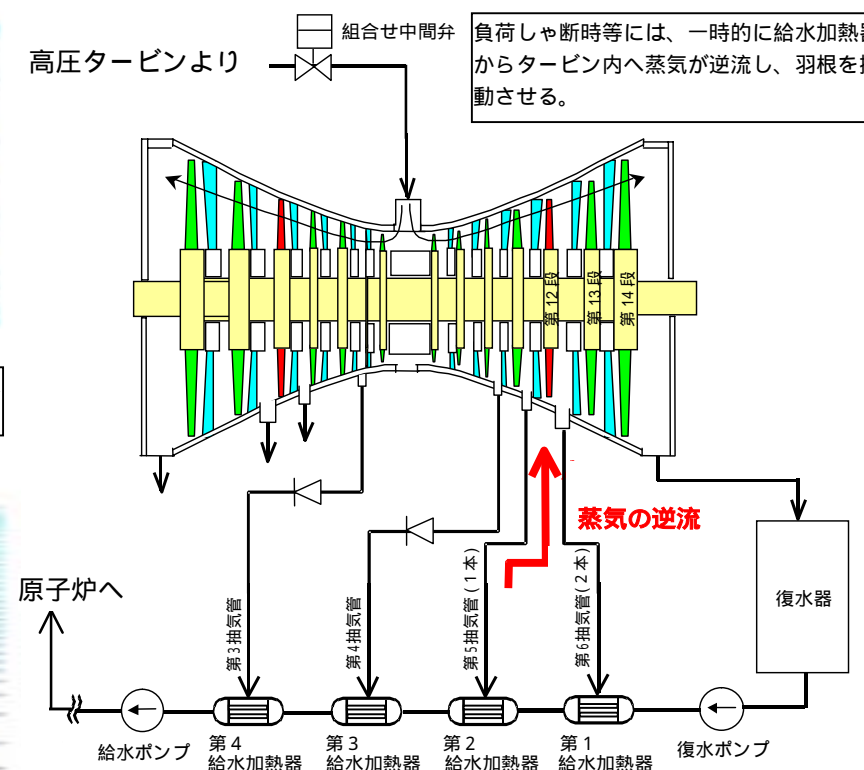
試運転中に実施した電気出力20%負荷しゃ断試験時の低圧タービン内における「蒸気流の乱れによる不規則な振動（ランダム振動）による応力」と「一時的な蒸気の逆流（フラッシュバック）による羽根の振動による応力」が重なり合ったことにより初期のひび割れが発生し、その後の低負荷運転・負荷しゃ断試験等に伴い繰り返し加わった応力により、割れが進展したものと特定いたしました。



低出力運転時には、12段部にも蒸気乱れによる渦が発生することを確認しました。なお、13段と14段はこれによる振動を考慮した設計となっています。



低圧タービン内の蒸気流の乱れによる渦の影響（ランダム振動）



低圧タービン内への蒸気の逆流（フラッシュバック）

(3) 設計検証

設計段階において、低負荷運転時に12段までランダム振動の影響が及ぶことが認識されず、フラッシュバックと重なり合っ、12段の羽根に過大な応力が発生することが想定されていませんでした。

<メーカー>

- ランダム振動の発生領域は主に最終段であるとの認識から、縮小モデルタービン試験時に、ランダム振動の影響範囲を広げて、製品の検証を行っていませんでした。
- フラッシュバックによる動翼への影響は小さいとの認識であり、フラッシュバック振動に影響のある抽気管の位置を先行機から変更しているものの、設計変更として捉えていませんでした。

<当社>

- 当時の知見からすれば本事象を把握するのは困難でしたが、技術基準を満足しないものであることを踏まえ、新技術採用時の検証や設計変更点の検証について強化していく必要があると考えています。

3. 対策

(1) 設備面の対策

ランダム振動およびフラッシュバックの発生を考慮した振動応力に対して余裕をもつタービンの羽根を新たに設計し、実機運転状態を模擬した実証試験などの入念な検証を行った後、新しい羽根を製作します。

なお、新しい羽根の製作には、実証試験等を含め相当な期間が見込まれることから、低圧タービン12段の静翼および動翼を全て取り外し、代わりに、原子力発電所や火力発電所で使用実績がある整流板を設置し、運転開始に努めてまいります。

この整流板の設置に関しては、ランダム振動およびフラッシュバックによる影響を検討し、問題のないことを確認しています。

(2) 設計面の対策

135万8千kWの大型タービンを開発した当時、新技術採用に当たっての検証が十分でなかったことから、安全機能・供給信頼性上の重要な設備について実証試験または解析を十分行うことや設計変更による不具合発生を防止するため、その根拠や妥当性を幅広く検証・評価することをメーカーに求め、その実施状況を確認してまいります。

また、当社は、今回の事象を踏まえて、タービン設計管理に関する教育の充実を図ってまいります。

以上

整流板設置による運転の概要

整流板設置による運転については、整流板前後段への影響等を検討し問題ないことを確認しており、また、原子力発電所や火力発電所においても使用実績があります。今後、整流板の設置に当たっては、国の厳正な審査や検査を受け、地域の皆さま方の理解をいただきながら、運転開始に努めてまいります。

1. 整流板の設置

低圧タービン12段の静翼および動翼を全て取り外し、代わりに整流板を設置します。この整流板は、整流板通過後の蒸気圧力を羽根がある状態と同じにするとともに、多数の穴により蒸気の流れを整えるものです。また、整流板は原子力発電所、火力発電所での使用実績があります。この方法では、タービンの効率が低下するため、電気出力は約120万kWになります。

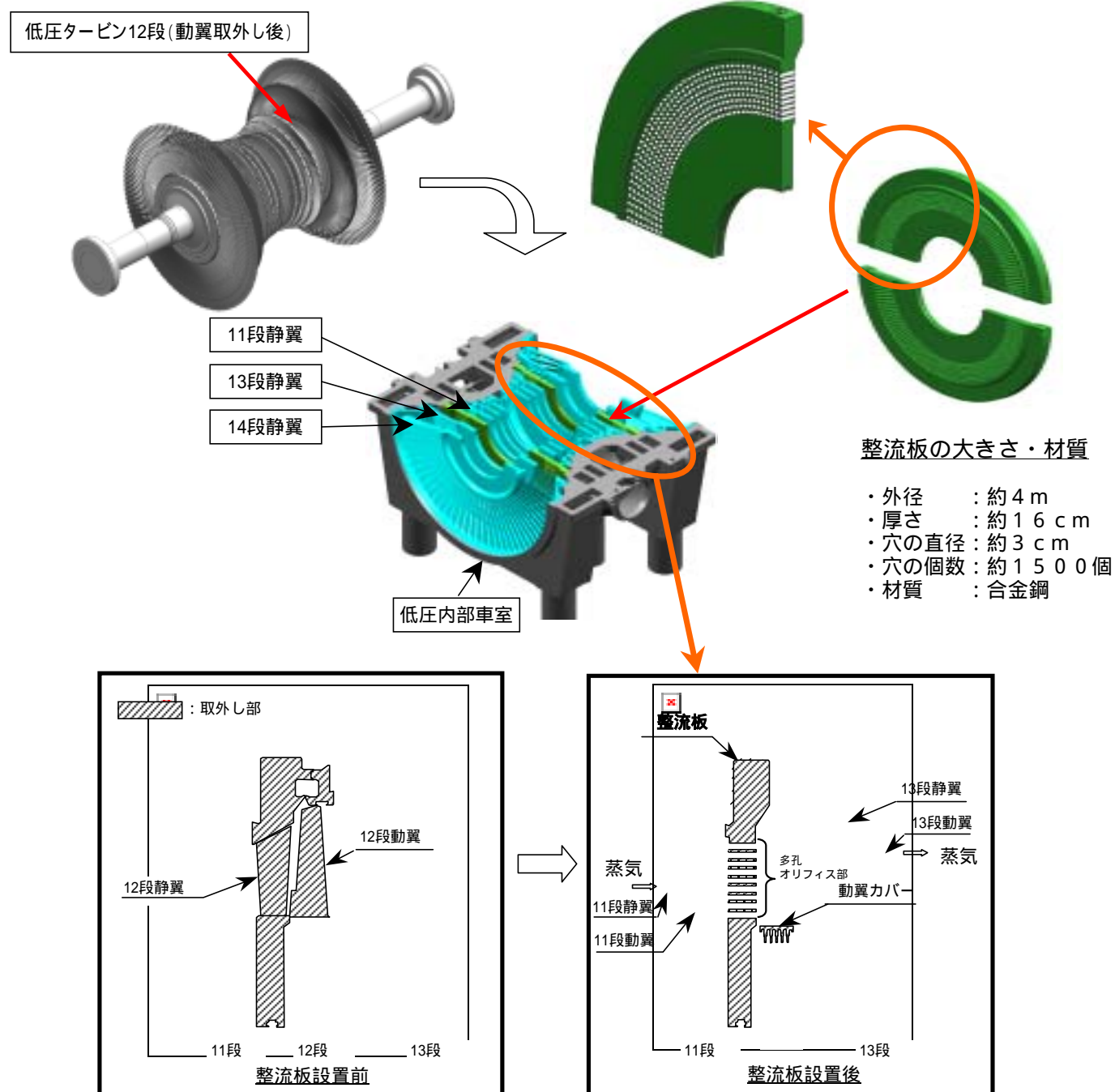


図1 整流板の概略図

2. 整流板設置による影響の確認

ランダム振動およびフラッシュバックによる流体加振力の影響を検討し、整流板設置後の方が、流れの乱れが小さく、また、13段および14段に対する低負荷時の流れ状況が悪化することはないこと等、問題のないことを確認しました。整流板の設置に当たっては、工事計画の届出を行い、その後国の厳正な審査を受けます。

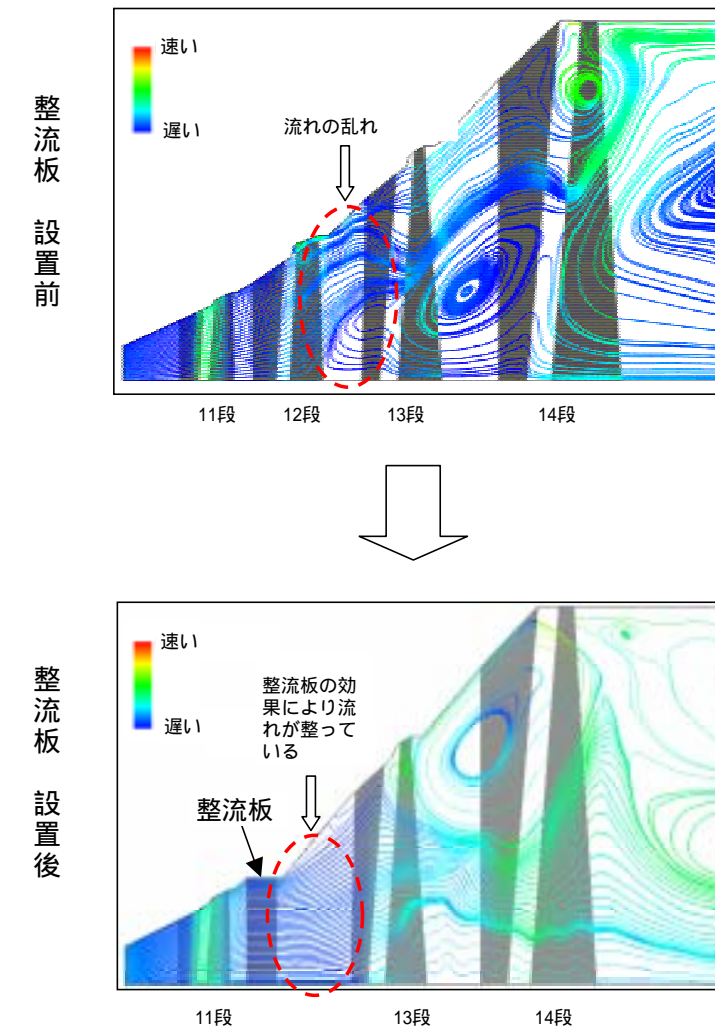


図2 低負荷時の蒸気の流れ

3. 整流板設置後の確認

整流板の設置後、国の使用前検査を受検します。また、整流板設置後については、運転中のタービン軸振動、給水加熱器内圧力等の関連データの監視を強化します。さらに、整流板設置後、次の定期検査において低圧タービン(A)～(C)の車室を開放して点検を実施します。

設備の総点検

今回の低圧タービン羽根損傷、高圧タービン内の粒状金属発見等の事象を踏まえ、志賀2号機の設備全般の健全性について確認するため、来年4月末までを目処に、発電を停止したまま、タービン設備をはじめ、発電所設備全般にわたり総点検を行うこととし、さらに4月から予定していた第1回定期検査を2月に前倒しして実施することにより、この総点検の徹底を図ることといたします。

< 点検対象 >

- 原子炉本体（原子炉圧力容器等）
- 原子炉冷却系統設備（給水加熱器等）
- 計測制御系統設備（制御棒駆動機構等）
- 原子炉格納施設（原子炉格納容器等）
- 放射線管理設備（放水放射線モニタ等）

- 蒸気タービン（高圧タービン等）
- 電気設備（発電機等）
- 燃料設備（燃料取扱装置等）
- 非常用予備発電装置（非常用ディーゼル発電設備等）
- 廃棄設備（廃棄物処理設備等）

