

発電所名	志賀原子力発電所2号機	日時	平成18年7月18日
件名	タービン羽根点検に伴うひびの確認について		
事象発生箇所	設備名	タービン設備	
	系統名	-	
	装置名	主タービン装置	
	標準装置名	-	
	機器名	発電用タービン	
	部品名	-	
発生前の電気出力	0万kW	発見時のプラント状況	冷温停止
放射能の影響	無し		
発見方法	作業・点検	発電停止時間	-
原因分類	設備不備、製作不完全		
国への法令報告根拠	-	国際原子力事象評価尺度 (INES)	-
事象発生状況	<p>中部電力(株)浜岡5号機で発生したタービンのトラブルに関連し、原子力安全・保安院からの指示を受け、7月5日に原子炉を停止しタービンの点検を行っていたところ、7月18日、浜岡5号機と同様の箇所のタービン羽根根元において、低圧タービン(A)～(C)12段の羽根840枚のうち、258枚の羽根根元取り付け部に「ひび割れ」「折損」を認めた。それ以外の段の羽根及び車軸等には、ひび割れ等の異常はなかった。</p>		
原因調査の概要	<p>低圧タービン羽根の根元取り付け部のひびの破面観察を行った。破面観察の結果、高サイクル疲労特有の貝がら模様や縞模様が観察された。志賀2号機の試運転経歴と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た。</p>		
事象の原因	<p>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・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した。</p>		
再発防止対策	<p>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、新しい羽根を製作する。 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てことから、その間、低圧タービン12段の静翼および動翼を全て取り外し、替わりに、整流板を設置することとする。</p>		

# 低圧タービンの羽根損傷の原因と対策

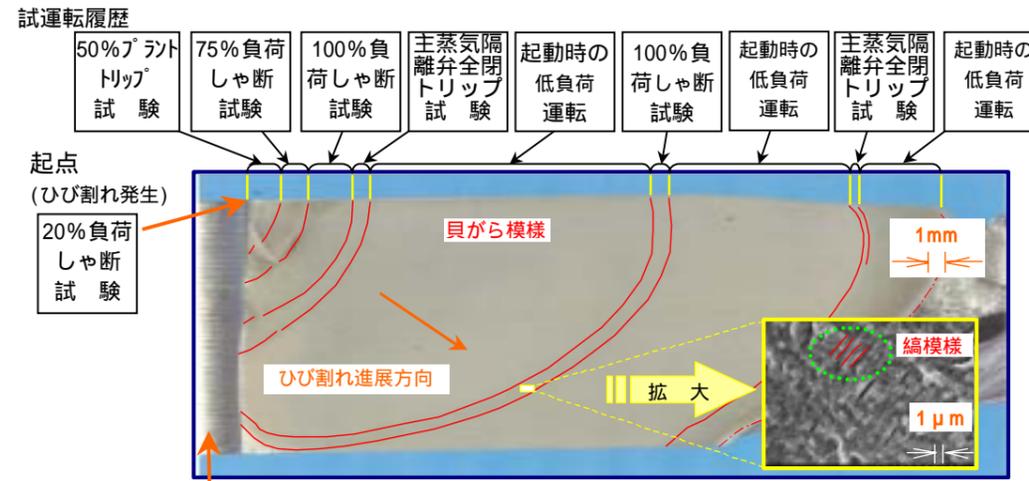
## 1. 低圧タービンの点検結果（公表済み）

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

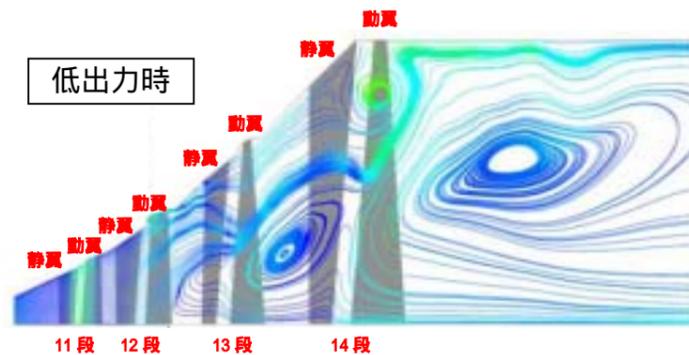
高サイクル疲労特有の貝がら模様や縞模様が観察されました。志賀2号機の試運転履歴との比較を行ったところ、この貝がら模様の間隔と試運転履歴に相関関係が認められました。



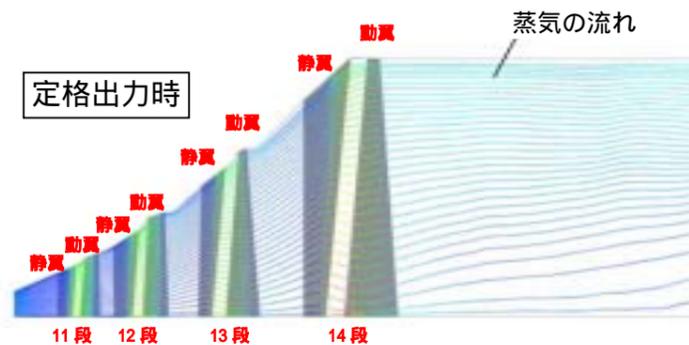
止めピンを挿入 ひび割れの破面状況と試運転履歴の関係

### (2) 損傷原因

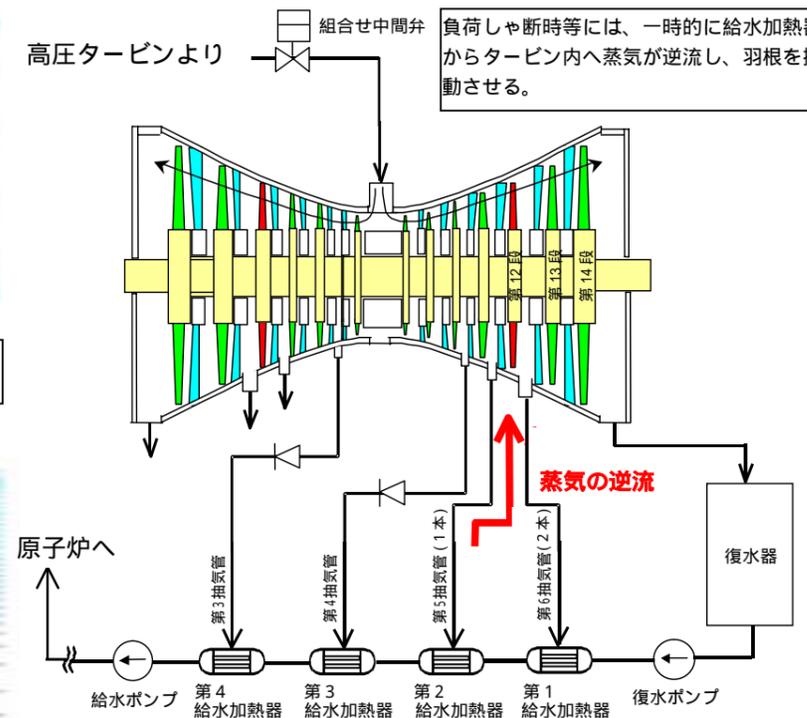
試運転中に実施した電気出力20%負荷しゃ断試験時の低圧タービン内における「蒸気流の乱れによる不規則な振動（ランダム振動）による応力」と「一時的な蒸気の逆流（フラッシュバック）による羽根の振動による応力」が重なり合ったことにより初期のひび割れが発生し、その後の低負荷運転・負荷しゃ断試験等に伴い繰り返し加わった応力により、割れが進展したものと特定いたしました。



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れ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、替わりに、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。

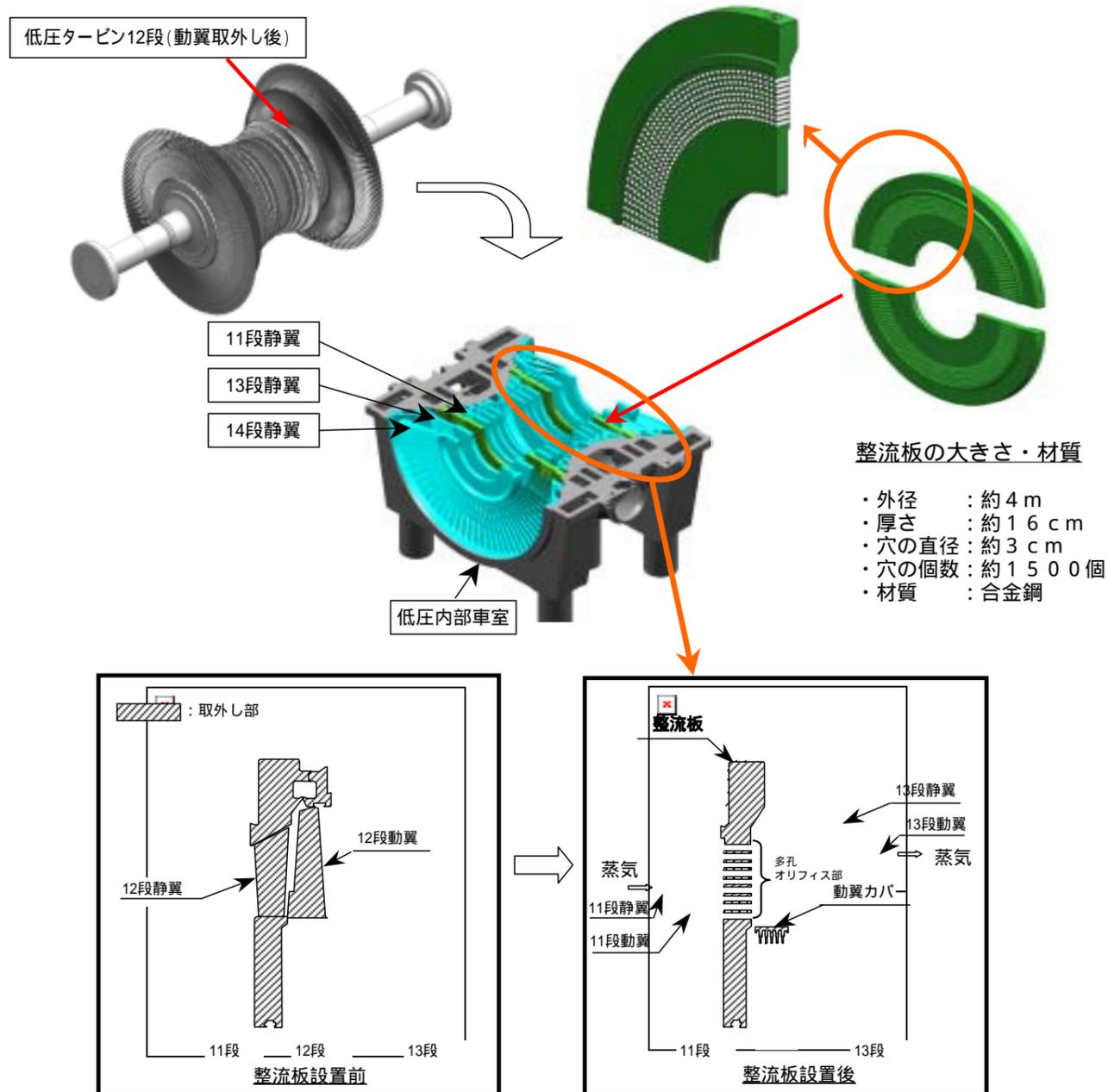


図1 整流板の概略図

## 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。

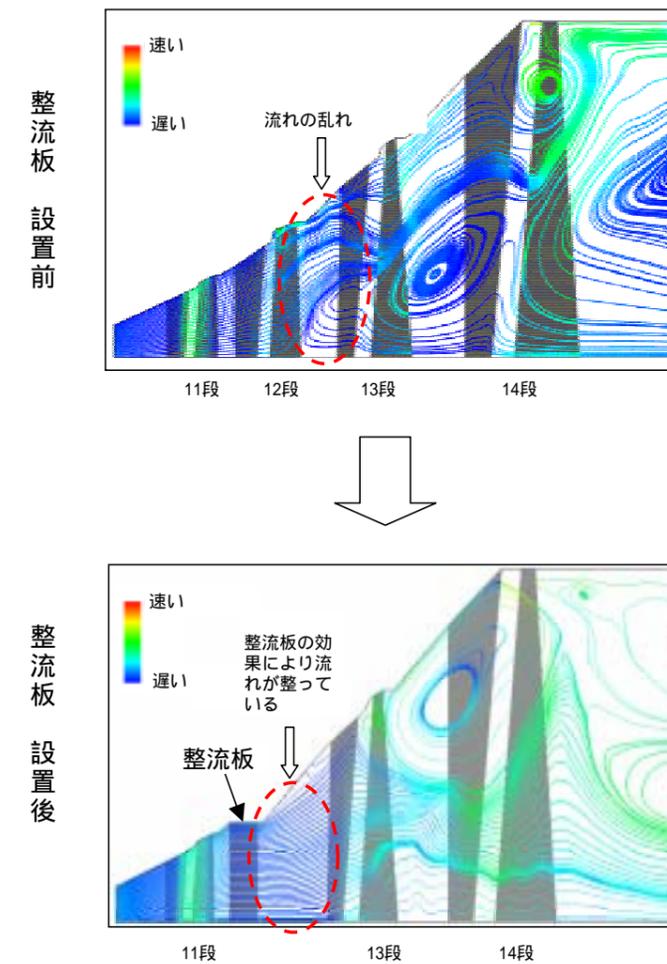


図2 低負荷時の蒸気の流れ

## 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。