

柏崎刈羽原子力発電所7号機 設計及び工事計画の届出書提出について (低圧蒸気タービンの取替)

- 2008年に、柏崎刈羽6,7号機において、低圧タービン動翼の損傷を確認。損傷箇所を確認した結果から、原因は高サイクル疲労※と推定。
【2008年9月19日公表済】
- 当時の対策として、新品への交換や傷の除去、運用面の見直し等を実施。2009年の運転再開以降、現時点までに異常なし。
- 将来に向けた更なる信頼性向上にむけて、より振動応力に強いタービンの設計改良を進めてきており、今般、その設計改良が完了したことから、当該タービンの製造に着手。

※ 材料に約1万～10万回以上繰り返して荷重が加わることにより、亀裂が発生し最終的に破断に至る現象

2022年3月10日
東京電力ホールディングス株式会社
柏崎刈羽原子力発電所

2008年3月 柏崎刈羽6,7号機において、低圧タービン動翼に損傷を確認

2008年9月 損傷の原因と対策を取りまとめ、報告書として公表※

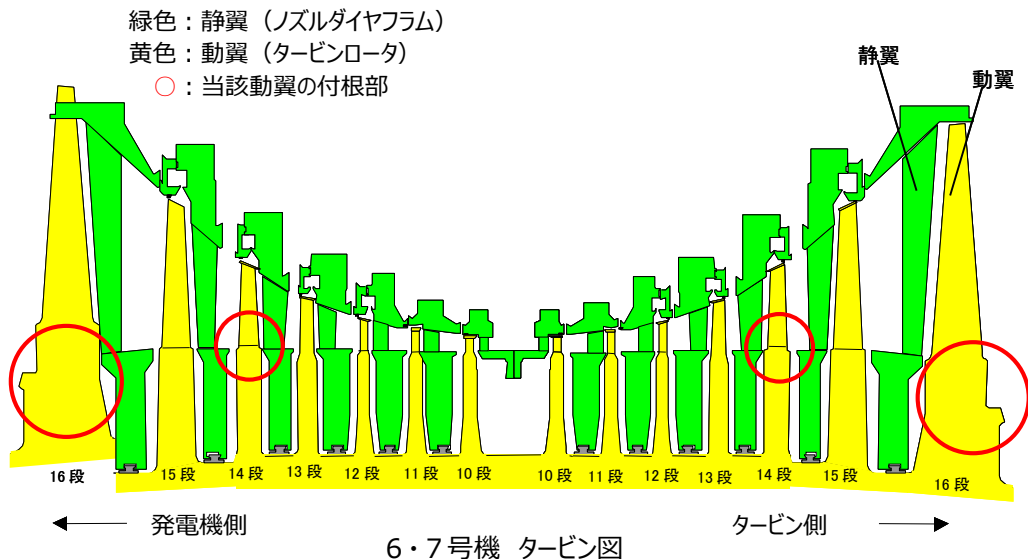
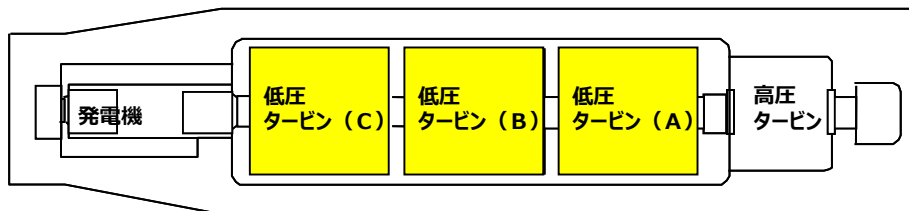
- 原因は、高サイクル疲労によるもの
- 設備面と運用面で対策を実施し安全性を確保
 - ✓ 設備面：新品への交換、傷の除去、等
 - ✓ 運用面：高サイクル疲労の要因となる事象の経験量に応じて点検
上記以外にも、累積運転時間に応じて抜き取り点検
プラントパラメータのモニタリング、等

⇒2008年以降の運転について異常が無いことを確認済

- 更なる信頼性向上策として、以下を計画
 - ✓ 損傷部位の検査技術の信頼性向上【2024年頃実用化予定】
 - ✓ 設計改良を行い、より振動応力に強いタービンへ取替、等

今回 更なる信頼性向上策のうち、タービン取替に係る設計改良が完了したことから、7号機タービン製作に向けて原子力規制庁に「設計及び工事計画の届出書」を提出予定

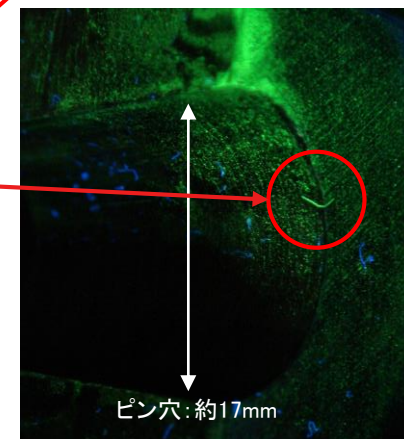
- 6,7号機の蒸気タービンは、高圧タービン1台と低圧タービン3台で構成。
- 各低圧タービンの動翼は、第10~第16段で構成されているが、2008年3月の点検において、第14段と第16段動翼の付根部に損傷を確認。



第14段動翼の損傷状況（折損）



第14~16段
動翼の構造
(付根部:フォーク型)

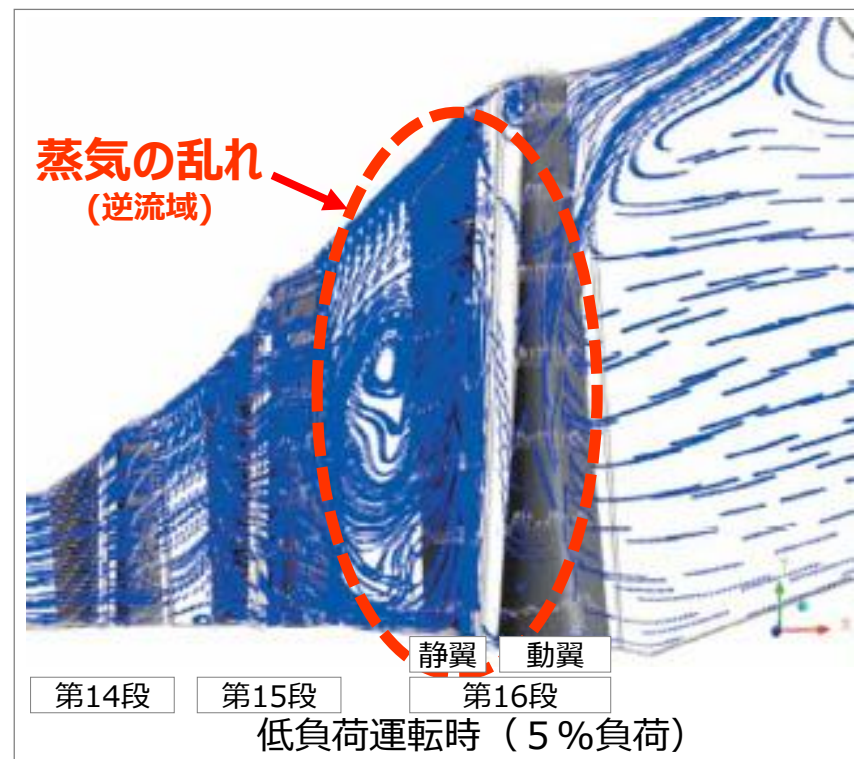
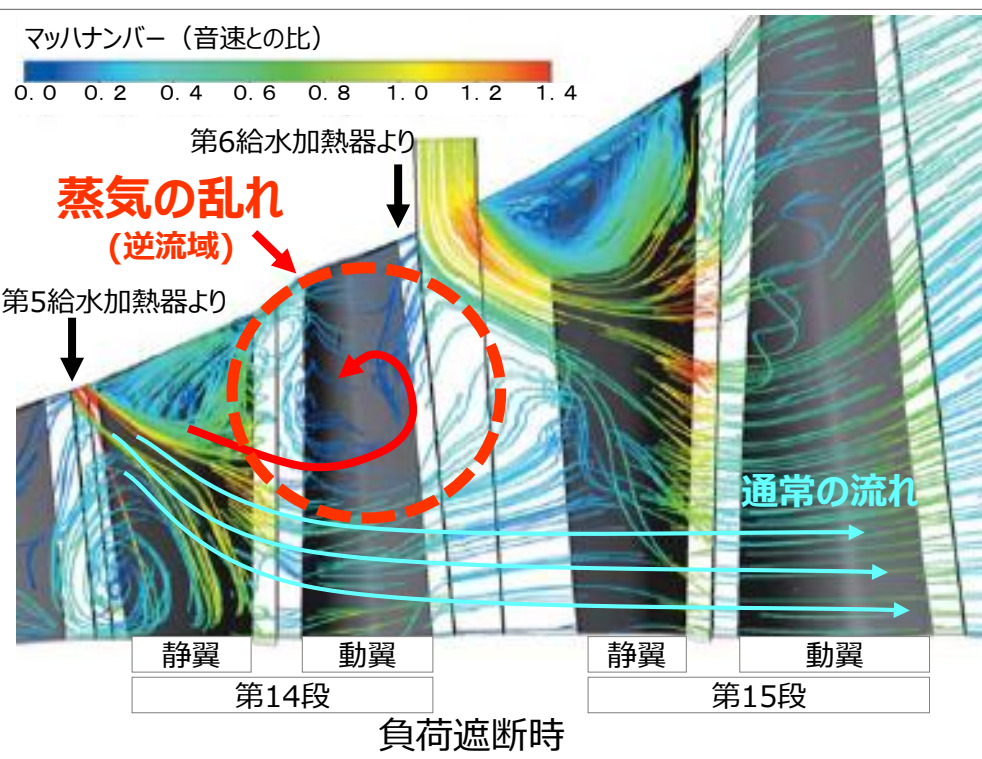


第16段動翼の損傷状況（傷）

- 流れ解析等の結果、以下の要因で蒸気の乱れによる振動応力が発生し、高サイクル疲労を起こしたものと推定。
 - 第14段：負荷遮断※¹時、低圧蒸気タービン内が急激に真空に近い状態となることで、給水加熱器に送っていた蒸気に高速の逆流が発生（フラッシュバック）
 - 第16段：低負荷運転※²時、第16段付近の蒸気の流れに乱れが発生（ランダム振動）

※1 送電系統トラブル等からタービンや発電機を守るため、負荷から切り離されること

※2 定格に対して低い負荷（蒸気流量が少ない状態）で、タービンを定格回転数で運転している状態



流れ解析の結果

- 設備面と運用面において、以下の対策を実施。

	第14段	第16段
設備	<ul style="list-style-type: none"> • 全ての同翼を、同設計の新品に交換 	<ul style="list-style-type: none"> • 全ての同翼で、傷発生箇所（ピン穴端部）を面取り加工し、傷の除去と応力の緩和を実施
運用 (点検)	<ul style="list-style-type: none"> • 負荷遮断が4回に達した時点で点検（損傷確認時の12回に対し保守的に1/3） • 負荷遮断が4回に達しなくても、低圧車室(B)タービンの開放点検に合わせて動翼フォーク部を点検（サンプリング率は翼数の20%程度） 	<ul style="list-style-type: none"> • 低負荷運転時間が80時間に達する前に点検（損傷確認時の約240時間に対し保守的に1/3） • 低負荷運転時間が80時間に達しなくても、低圧車室(B)タービンの開放点検に合わせて動翼フォーク部を点検（サンプリング率は翼数の20%程度）
運用 (監視、 運転 操作等)	<ul style="list-style-type: none"> • プラントパラメータのモニタリング（負荷遮断によるフラッシュバック発生時） 	<ul style="list-style-type: none"> • プラントパラメータのモニタリング（低負荷運転時） • 低負荷運転時間を可能な限り短縮（低負荷時の逆流が発生する時間を低減）

【参考】2008年以降の運転実績は、損傷時や設定した点検タイミングに対して十分な裕度がある状態。

- 2008年に損傷を確認 ⇒ 負荷遮断：12回、低負荷運転：約 240時間 [プラント運転時間 約10年]
- 原因を踏まえ、2008年に点検タイミングを設定 ⇒ 負荷遮断：4回、低負荷運転：約 80時間
- 交換・補修後、2008年以降の運転実績 ⇒【6号機】負荷遮断：0回、低負荷運転：約 23時間 [プラント運転時間 約1.5年]
⇒【7号機】負荷遮断：0回、低負荷運転：約 18時間 [プラント運転時間 約1.5年]

- 設備面と運用面における対策により安全性に問題はなく、これまでの点検からも、異常は無いことを確認済。
- 加えて、将来に向けた更なる信頼性向上を目的として、設計改良を進めてきており、今回、設計及び工事計画の届出を行い、タービン製作を進めていく。

項目	取り組み事項（2008年9月19日公表済み）	実施状況
運用 (点検等)	<ul style="list-style-type: none"> • 第14段および第16段の点検やモニタリング結果を適宜、分析・評価し、対策の有効性を確認 	2009年12月より実施中 (運転時のみ)
	<ul style="list-style-type: none"> • タービン動翼フォーク部（付根部）の検査技術として、超音波探傷試験（UT）※1の信頼性向上を検討 	傷検出可否の確認試験中 (2024年実用化予定)
	<ul style="list-style-type: none"> • 7号機低圧（B）タービン第16段動翼のフォーク部点検に合わせて、第15段動翼のフォーク部点検を行い、今後の知見を拡充 	設計改良タービンへの取替 進捗も考慮し今後検討
設計	<ul style="list-style-type: none"> • 負荷遮断時のフラッシュバックや、低負荷運転時のタービン動翼に発生する応力について、詳細に評価 • フォーク部（付根部）に発生する振動応力が一層低減するような設計改良について、10年程度以内※2の実用化を目標に検討 	タービンの設計改良が完了 今回、製作に着手

※1 非破壊検査法の一つ

※2 プラント運転時間を考慮して設定。2008年以降のプラント運転時間としては約1.5年

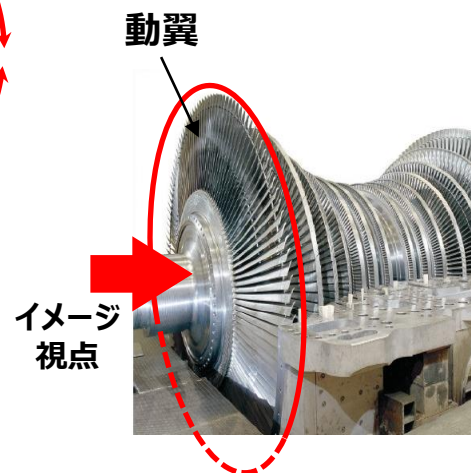
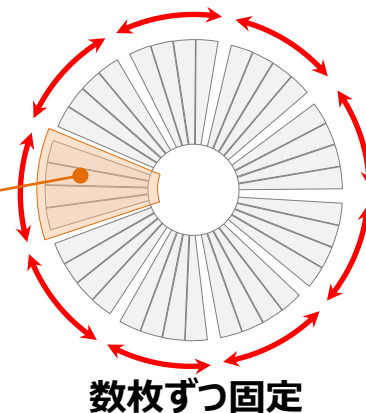
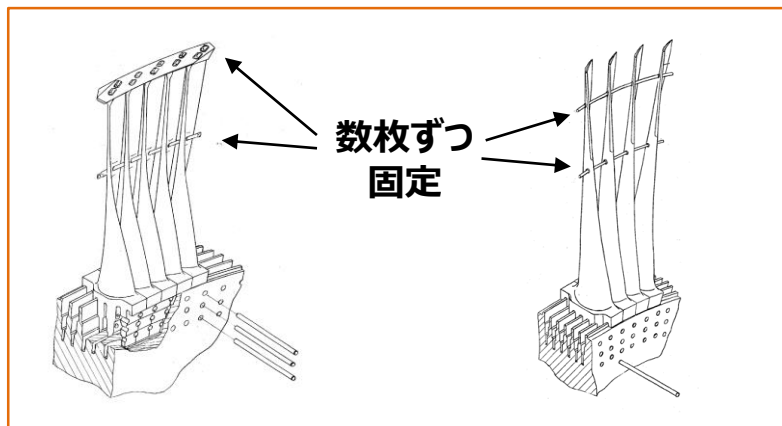
- 設計改良したタービンでは、全ての動翼をカバーで束ねる全周一群構造を採用することにより、振動を抑制するとともに動翼全体の剛性を向上。

第14段動翼

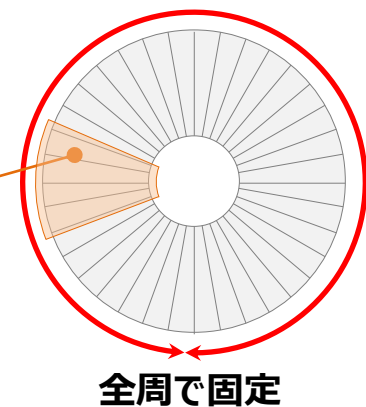
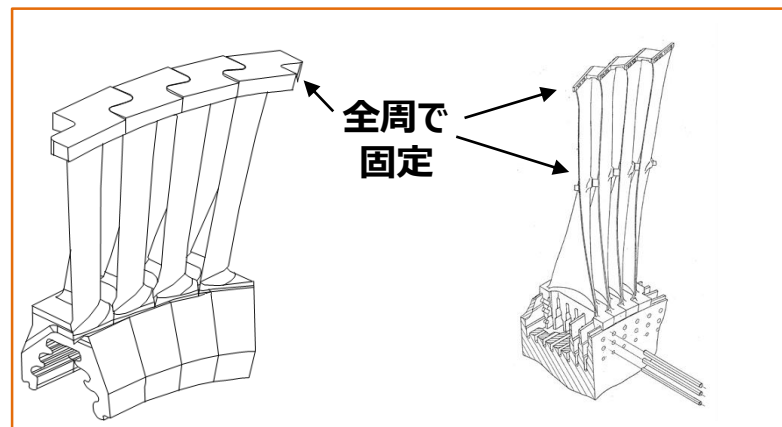
第16段動翼

動翼固定のイメージ

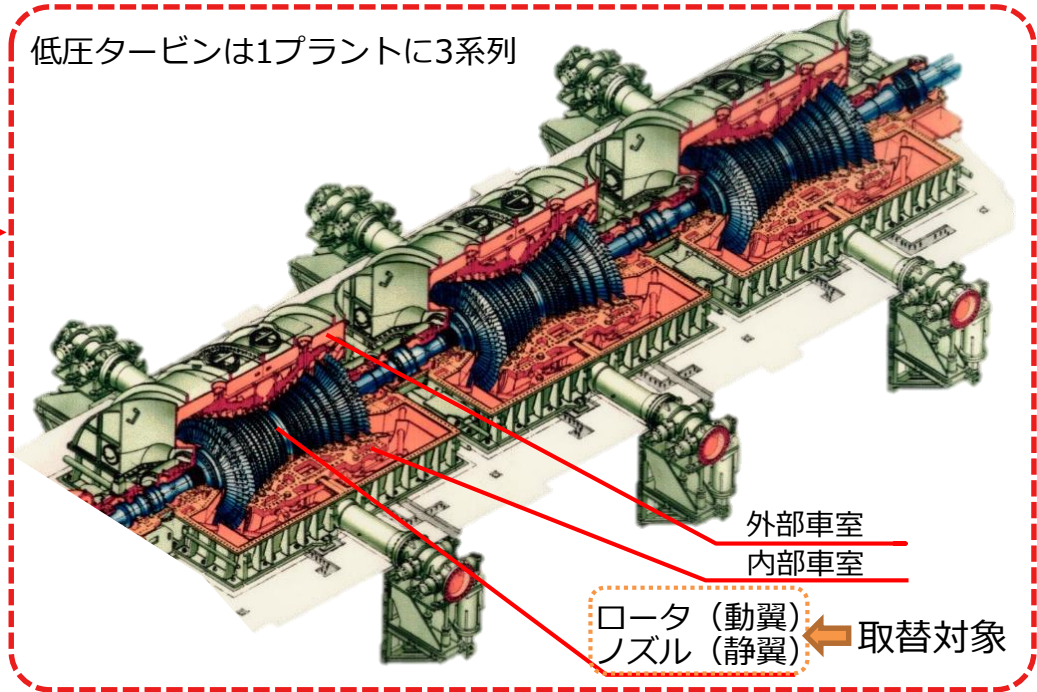
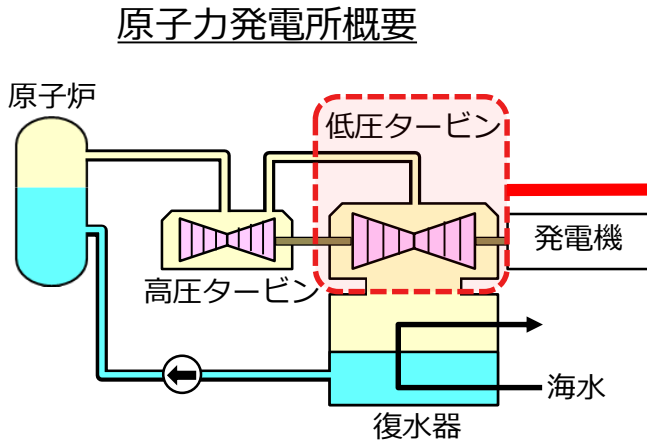
現在の設計



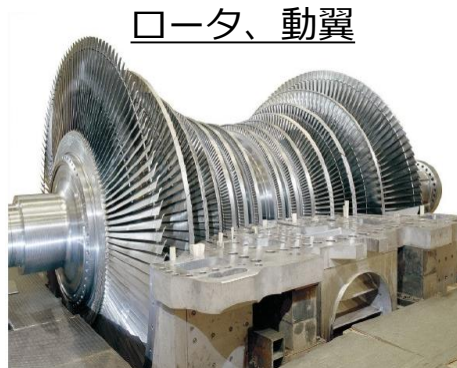
設計改良後



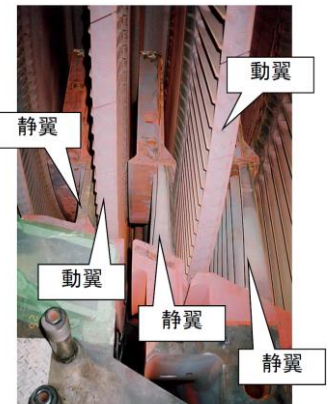
■ タービン：蒸気の流れを回転に変え、発電機を回し電気を発生させる機器



■ 今回取替対象となる設備



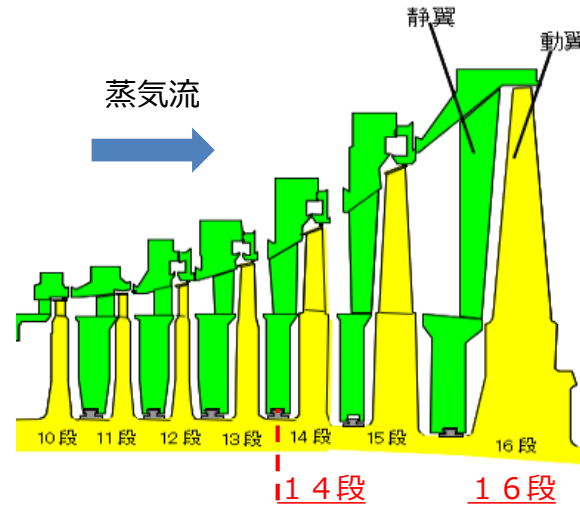
動翼と静翼が交互に組み合わせられる



低圧タービン動翼の付根部は大きく二つの種類に分類される。

○10段～13段:鞍型

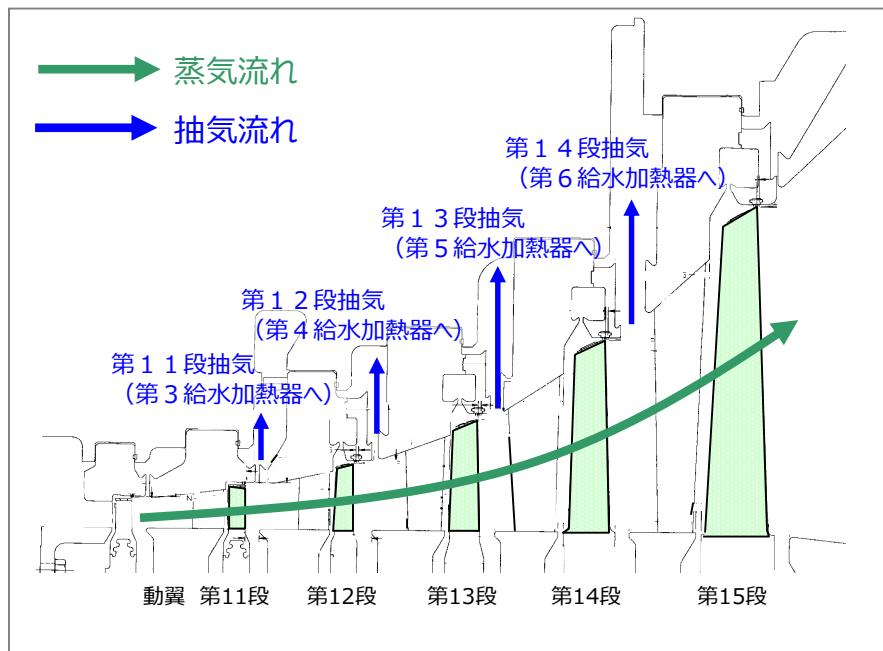
※損傷は確認されず



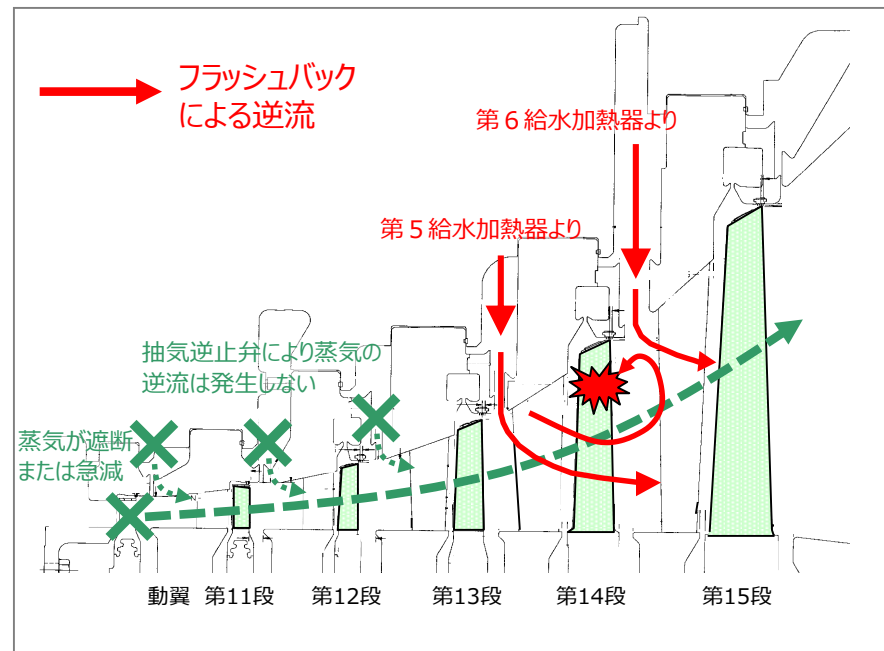
○14段～16段:フォーク型

※14段、16段が損傷





通常運転時の蒸気の流れ



フラッシュバック時の蒸気の流れ

フラッシュバックの挙動

- ① 蒸気量が急減または蒸気が遮断
- ② タービン内の圧力が低下
- ③ 給水加熱器の圧力が低下し、加熱器内で減圧沸騰が発生し、蒸気が高速で逆流する