



平成18年9月12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 低圧タービンの点検状況について (続報)

浜岡原子力発電所5号機の低圧タービンについて、これまでの点検および工場における試験・解析等による調査結果等についてお知らせいたします。

1 タービン開放点検状況

タービンを開放し、羽根が脱落した低圧タービン(B)のほかに、低圧タービン(A)および(C)についても目視点検および非破壊検査を行った結果、低圧タービン(B)で羽根が脱落した第12段については、3基のタービンいずれにおいても、羽根の根元取付け部(フォーク)および車軸の羽根取付け部の一部に折損またはひび割れを確認しました。また、他の段の羽根については、異状は認められませんでした。

これらのことから、今回の事象は低圧タービン(A)から(C)に共通した第12段の羽根特有の事象と推定しました。

2 試験・解析等による調査結果

工場における試験・解析等の調査結果は、次のとおりです。

(1) 破面観察結果

損傷した羽根の根元取付け部等の破面について観察した結果、高サイクル疲労^(※1)特有の模様を確認しました。

(2) 原因調査状況

高サイクル疲労を発生させた要因として、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、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)による振動応力が、第1 2段の羽根に作用し、その結果、根元取付け部が疲労破損した可能性があるかと推定しました。現在、破面に残された模様と試験運転時等のタービン運転履歴との関連について確認を行っています。

3 今後の対応

引き続き、詳細な原因調査を実施するとともに、復旧対策について検討を進めてまいります。

※1 高サイクル疲労とは、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、き裂が発生・進展し破損に至る現象です。

※2 ランダム振動とは、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 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。この蒸気を抽気といいます。発電機の負荷遮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、負荷遮断とは、送電線の故障等により発電を緊急停止することです。

添付資料

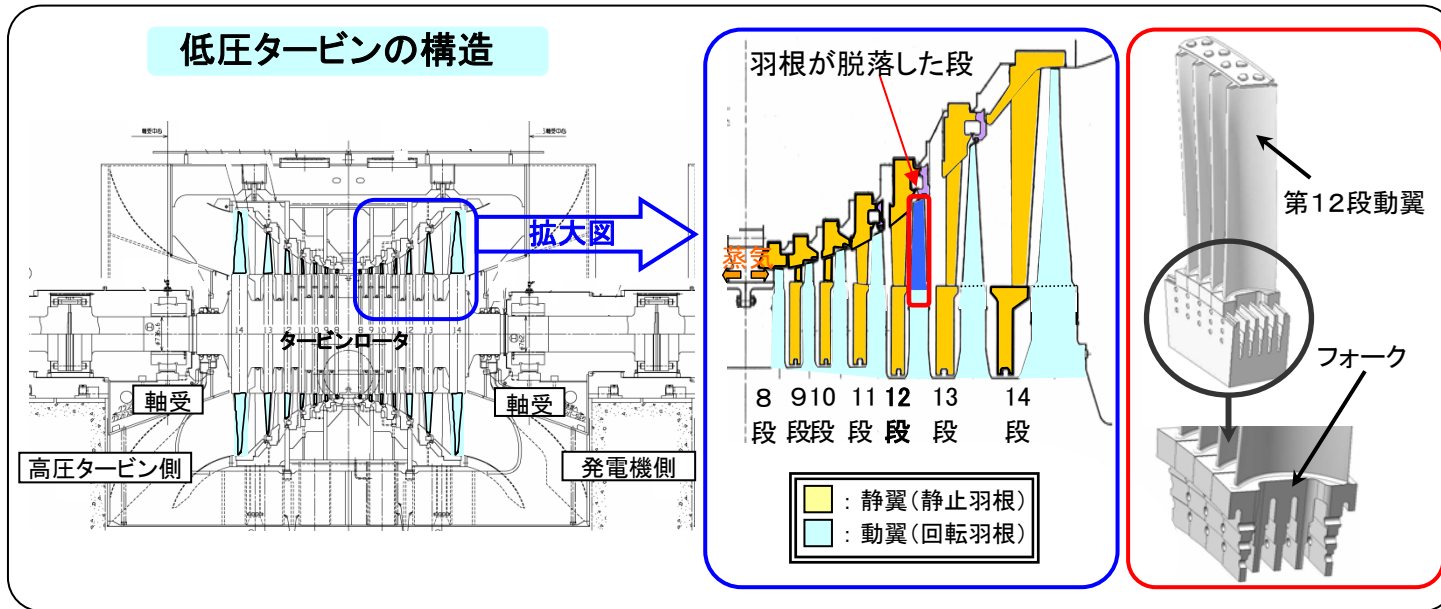
- 1 浜岡原子力発電所5号機低圧タービン開放点検状況ならびに調査結果について
- 2 ランダム振動とフラッシュバック現象の概要

参考資料

浜岡5号機の運転履歴と破面観察結果（ビーチマーク）について

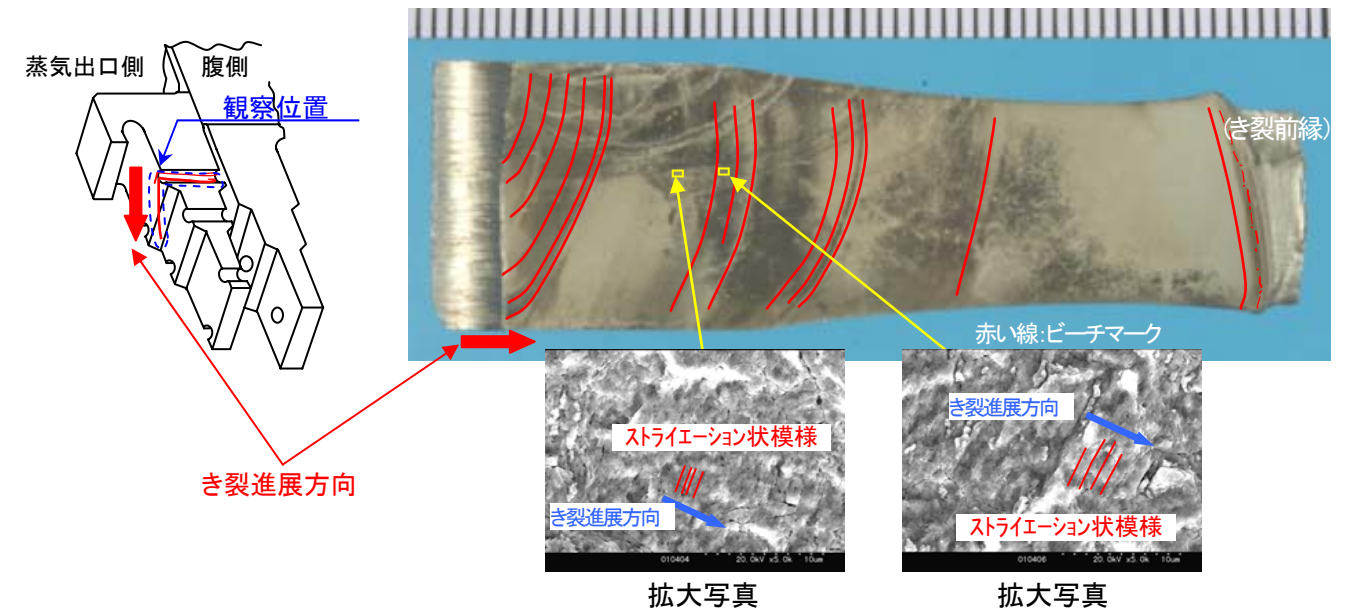
以 上

- ①タービンを開放して目視点検・非破壊検査を行った結果、羽根が脱落した第12段以外の羽根に異状は認められなかったことから、第12段の羽根特有の事象と推定しました。
- ②損傷した羽根の根元取付け部等の破面について観察した結果、高サイクル疲労特有の模様を確認しました。
- ③高サイクル疲労は、無負荷・低負荷時および負荷しゃ断時に発生する振動応力に起因する可能性があると推定しました。



○ 破面観察結果

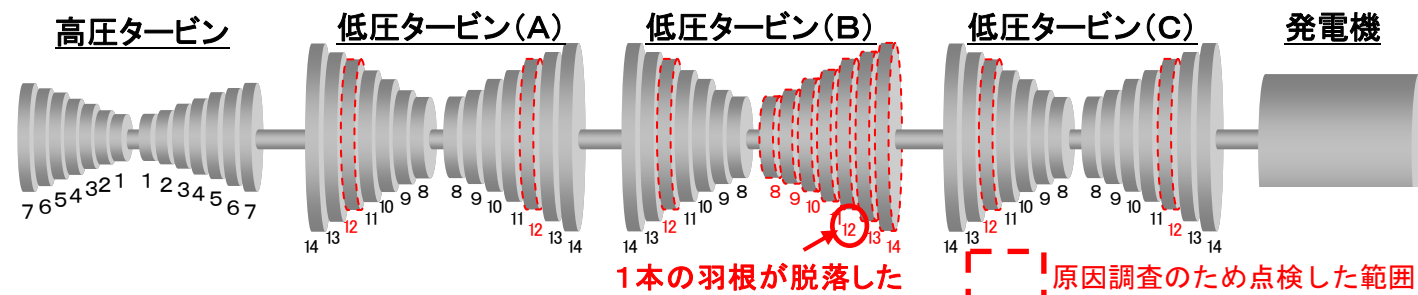
第12段羽根の根元取付け部(フォーク)等のひび割れ部の破面観察を行った結果、高サイクル疲労特有の模様(ビーチマーク*¹及びストライエーション状模様*²)を確認しました。



- *1 疲労破面において観察される模様で、砂浜に残る波跡に似ているためビーチマークと呼ばれます。これから、き裂伝播方向や進展の履歴を知ることができます。
- *2 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、き裂進展方向に対して直角に並んでいます。

○ タービン開放点検状況

目視点検・非破壊検査の結果、第12段の羽根取付け部以外に異状は認められなかったことから、低圧タービン(A)(B)(C)の第12段の羽根特有の事象と推定しました。



(目視点検および非破壊検査にて羽根のフォークに折損またはひび割れが確認された羽根の本数)

(第12段の羽根の点検結果)

低圧タービン(A)		低圧タービン(B)		低圧タービン(C)	
高圧タービン側	発電機側	高圧タービン側	発電機側	高圧タービン側	発電機側
71/140	114/140	132/140	115/139*	121/140	109/140

* 低圧タービン(B)については、脱落した羽根1本を除く。

(第12段以外の羽根の点検結果)

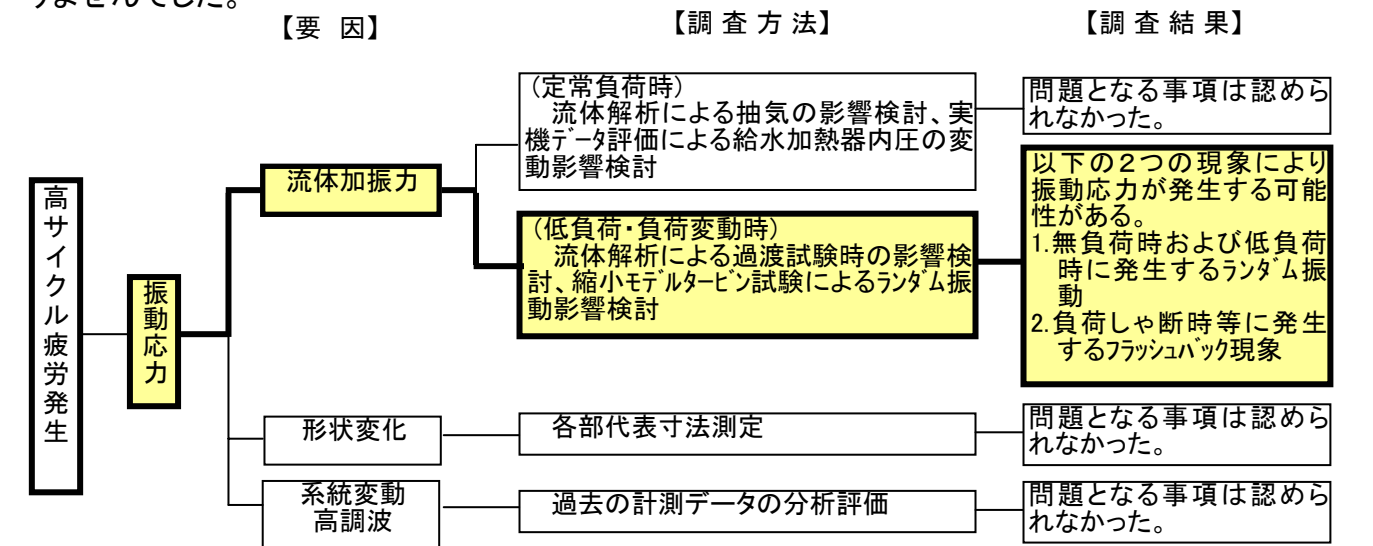
低圧タービン(B)発電機側					
第8段	第9段	第10段	第11段	第13段	第14段
0/212	0/180	0/140	0/112	0/160	0/122

- 注) 1. 表中の数字の分母は点検対象の羽根本数を、分子はそのうち折損またはひび割れが確認された羽根本数を示します。
 2. 羽根取付け部の構造は第8～11段が鞍型、第12～14段がフォーク型を採用しております。
 3. 第8～11段については、低圧タービン(B)の高圧タービン側および低圧タービン(A)(C)について非破壊検査を実施し、ひび割れが発生していないことを確認しています。

○ 原因調査状況

高サイクル疲労は、ランダム振動による応力や、フラッシュバック現象の振動応力により発生した可能性があると推定しています。

なお、材料、製作、組立、運転・保守などの要因についても確認しましたが、問題となるものではありませんでした。



ランダム振動

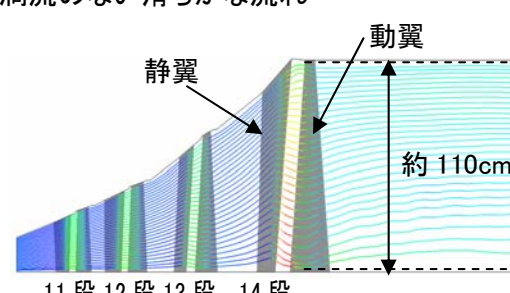
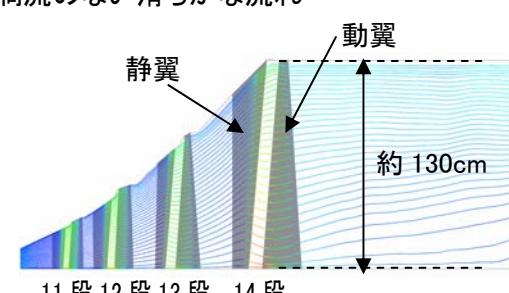
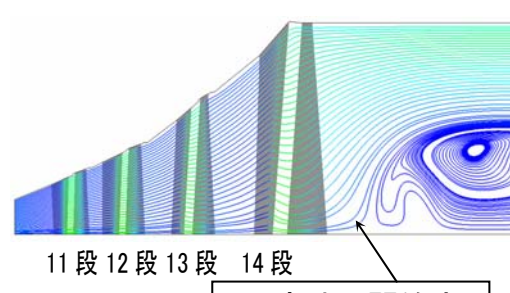
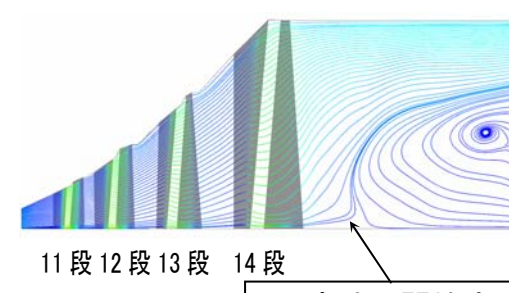
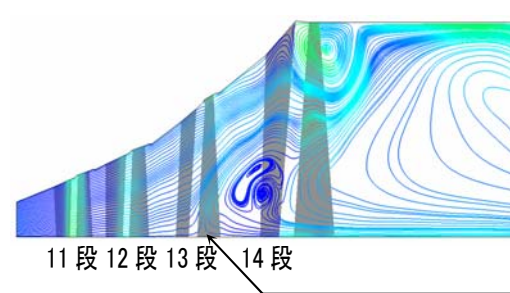
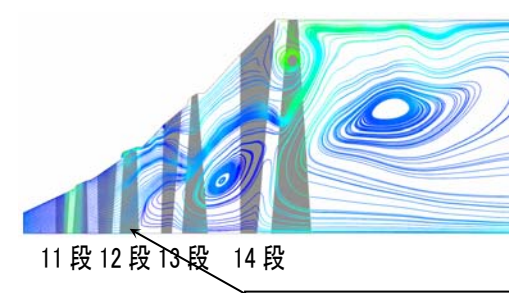
(無負荷時および低負荷時のタービン内の蒸気流の乱れによる流体振動)

ランダム振動は、従来から、主に最終段(第14段)に発生し、その前段(第13段)にも発生する可能性のあることが知られています。

羽根の周囲の蒸気流は下図のようになり、無負荷時および低負荷時には大きな逆流(渦流*)が発生します。今回解析を行った結果、5号機ではタービンの大型化に伴って羽根を長くしており、第12段までその影響が及ぶことが分かりました。

* 発生する渦は時刻とともに半径方向等に動く。

(ランダム振動に関する浜岡4号機と5号機における解析評価結果)

	浜岡4号機	浜岡5号機
	・定格出力 : 1137MW ・回転数 : 1800rpm ・低圧タービン段数 : 7~14段	・定格出力 : 1380MW ・回転数 : 1800rpm ・低圧タービン段数 : 8~14段
100% 負荷時	渦流のない滑らかな流れ  約 110cm	渦流のない滑らかな流れ  約 130cm
25% 負荷時	14段出口に大きな渦流が見られます  渦流域の開始点	14段出口に大きな渦流が見られます  渦流域の開始点
5% 負荷時	14段の動翼根元側に大きな渦流がみられるが12段には渦流は見られません  渦流域の開始点 13段、14段は設計上ランダム振動を考慮	12段動翼根元側にも大きな渦流が見られます  渦流域の開始点 13段、14段は設計上ランダム振動を考慮

フラッシュバック現象

(給水加熱器内の高温水が減圧沸騰しタービン内に逆流する現象)

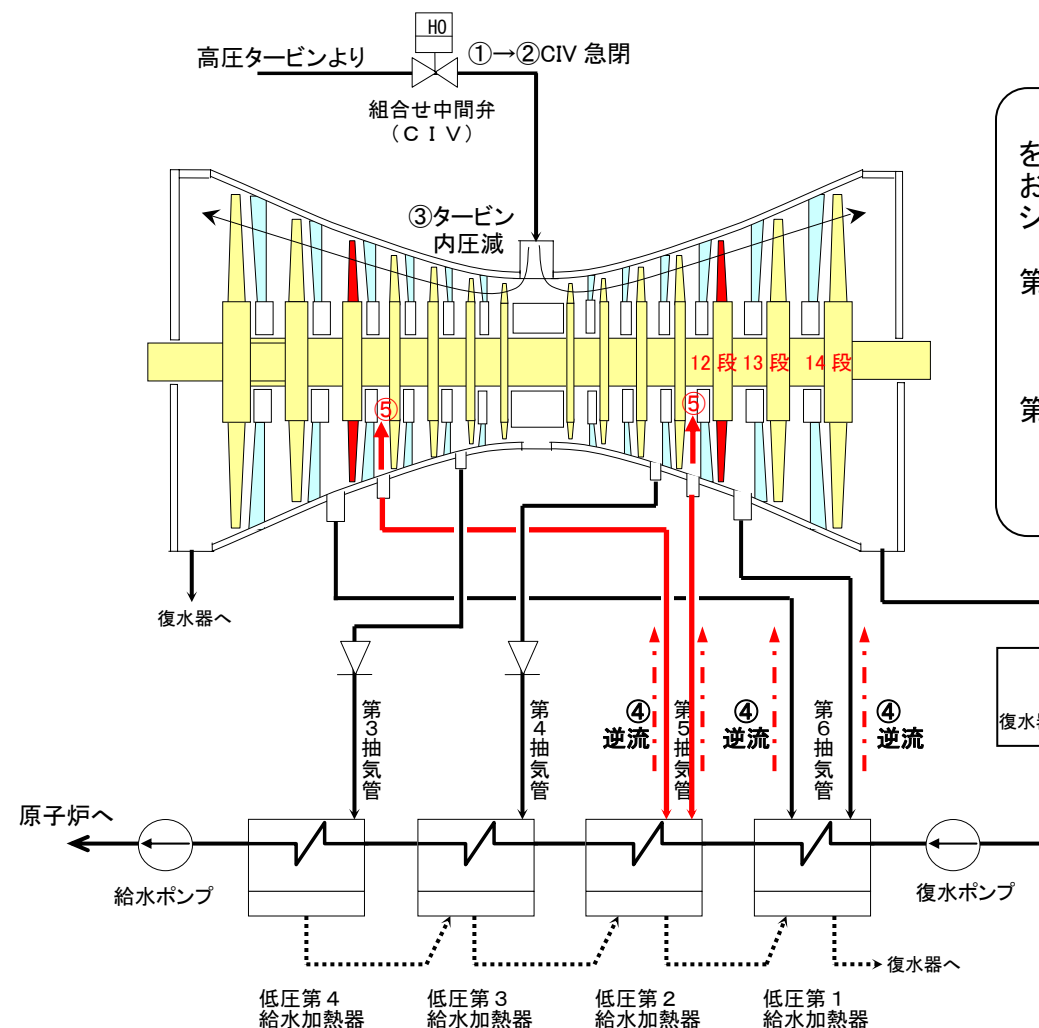
発電機の負荷しゃ断時等にはタービンへ供給される蒸気が急激に減少*することから、タービン内の圧力が低下します。このため、給水加熱器内の高温水が減圧沸騰し、蒸気がタービンに高速で逆流します。これをフラッシュバック現象といいます。この逆流蒸気がタービンの羽根に当たり、振動を発生させます。

* タービン軸振動過大などタービン保護のための自動停止信号が発信した場合は、蒸気入口弁を急閉させ、タービンへの蒸気供給を止める仕組みになっています。また、送電線事故で発電機負荷が瞬時になくなった場合(負荷しゃ断)の場合も同様です。(4号機を除く。)

なお、発電機出力の低い状態で負荷しゃ断した場合は、タービンは停止せず、定格回転数を維持するためのわずかな蒸気量を供給する仕組みとなっています。

(フラッシュバックのメカニズム)

- ① 通常運転中、蒸気はタービンを流れ、復水器で凝縮されます。また、一部の蒸気がタービンの段落途中から給水加熱器(原子炉への供給水を加温する設備)に供給されます。
- ② 負荷しゃ断等により、組合せ中間弁(CIV)が急閉し、タービンへの流入蒸気が急激に減少します。
- ③ 流入蒸気がしゃ断される一方、タービン内の蒸気は真空度の高い復水器に引かれるため、タービン内の圧力は急速に低下します。
- ④ タービン内の圧力と給水加熱器内の圧力が逆転し、給水加熱器からタービンへ蒸気の逆流が発生します。
- ⑤ 蒸気の逆流により、給水加熱器内の圧力が低下し、給水加熱器内の高温水が減圧沸騰し、これにより発生した蒸気がタービンに高速で逆流します。



浜岡4号機は、第5抽気管を第11段手前から取出しており、第12段羽根へのフラッシュバックの影響は小さい。

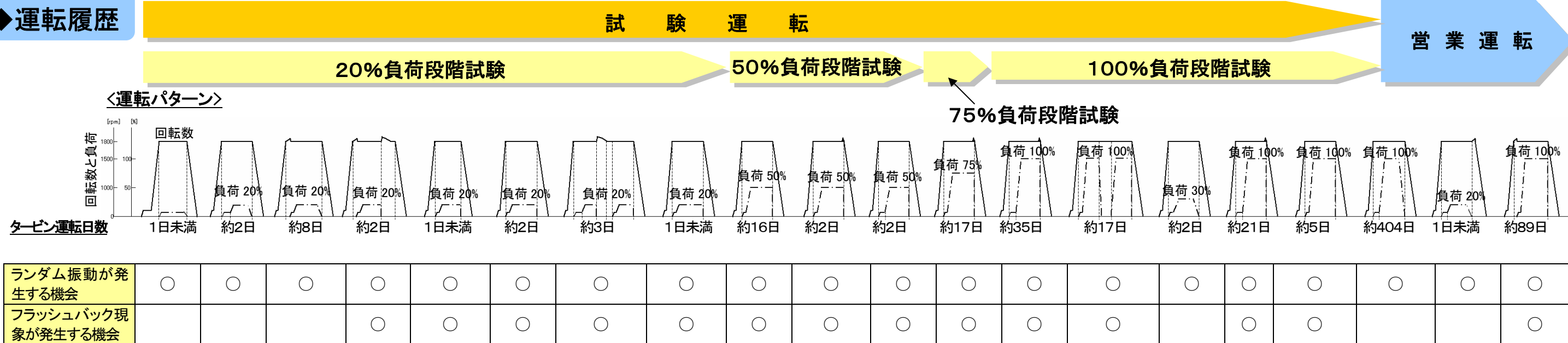
第5抽気管取り出し位置
 浜岡4号機: 第11段手前
 浜岡5号機: 第12段手前

第6抽気管取り出し位置
 浜岡4号機: 第13段手前
 浜岡5号機: 第13段手前

浜岡5号機の運転履歴と破面観察結果(ビーチマーク)について

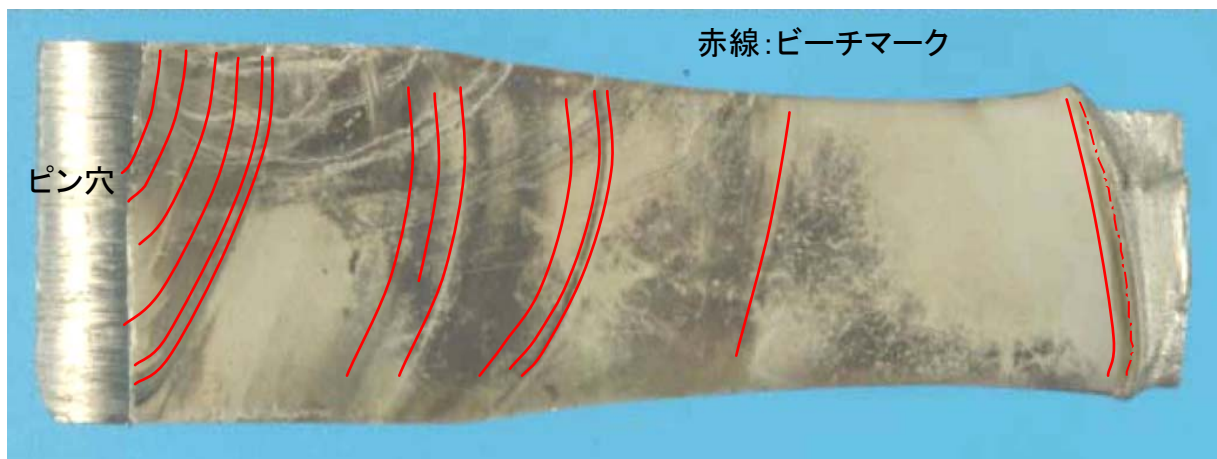
- ①ランダム振動は、無負荷時および低負荷時に発生するため、プラントの起動または停止の操作を行う際には常に発生します。一方、フラッシュバック現象は負荷しゃ断の際に発生します。
 浜岡5号機の試験運転および営業運転における運転履歴を調査し、これらの事象が発生する機会を整理しました。
 ②現在、破面に残された模様(ビーチマーク)と運転履歴との関連について詳細な確認を行っています。

◆運転履歴



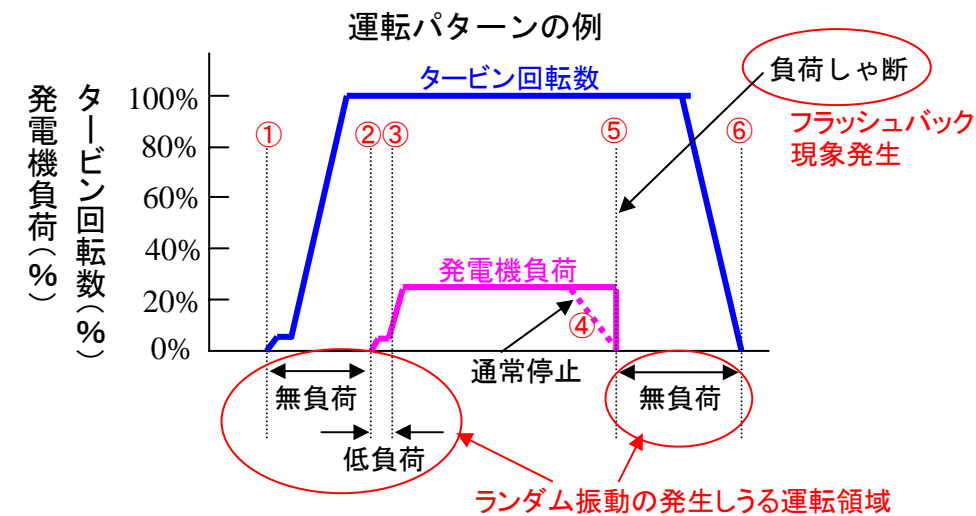
◆破面観察結果

第12段羽根の根元取り付け部(フォーク)のビーチマーク観察結果



※本写真は、説明のために、実際のものから縦横比を変えてあります。

ビーチマーク(写真赤線)は、疲労き裂の進展の過程で、作用応力や環境等、き裂の進展速度に影響を及ぼす何らかの条件変化が生じた場合に形成されます。



- ①～②: タービンが運転を開始しても発電機が解列している状態(発電していない状態)で無負荷状態といいます。
- ②～③: 発電機は並列(発電している状態)していますが、負荷上昇する前の状態で低負荷状態といいます。
- ④: 通常発電を停止する場合は、発電機負荷を徐々に低下させて最終的に発電機を解列します。(フラッシュバック現象は発生しません)
- ⑤: 負荷しゃ断試験等を実施する場合は、所定の発電機負荷から、瞬時に発電機を解列します。(フラッシュバック現象が発生します)
- ⑤～⑥: 発電機が解列した後もタービンが運転を継続している状態で無負荷状態といいます。