

福島第二原子力発電所3号機および柏崎刈羽原子力発電所7号機
非常用ディーゼル発電機過給機の点検結果の報告について

上記事象の水平展開について、福島第二原子力発電所3号機非常用ディーゼル発電機（以下、D/Gという。）(B)及び柏崎刈羽原子力発電所7号機D/G(B)の点検結果、並びにレーシングワイヤ孔位置測定の判定基準について、以下に示す。また、超音波探傷法によるファツリ一部検査手法の開発状況について、以下の通り報告する。

1. 福島第二原子力発電所3号機D/G(B)の点検結果について

福島第二原子力発電所3号機D/G(B)はタービンブレード取り外し・再取付けの実績があることから、タービンブレードを新しいものに交換した。交換に加え、旧品タービンブレードおよびロータの点検を実施したことから、点検内容及び点検結果について以下の通り報告する。

(a) 点検内容

- タービンブレード取外し後に、旧品タービンブレードファツリ一部およびロータファツリ一部のPT検査を実施した。
- タービンブレード取外し後に、旧品タービンブレードのレーシングワイヤ孔位置測定を実施した。(図1参照)

(b) 点検結果

- PT検査の結果、タービンブレード、ロータともに、き裂は確認されなかった。
- 隣り合うブレードの孔位置の差(位置ずれ寸法)は最大0.14mmであった。なお、柏崎刈羽原子力発電所1号機の原因調査では、0.89mmの位置ずれが確認されたブレードであってもき裂は認められなかった。
- タービンブレード交換後のD/G試運転の結果、異常のないことを確認した。

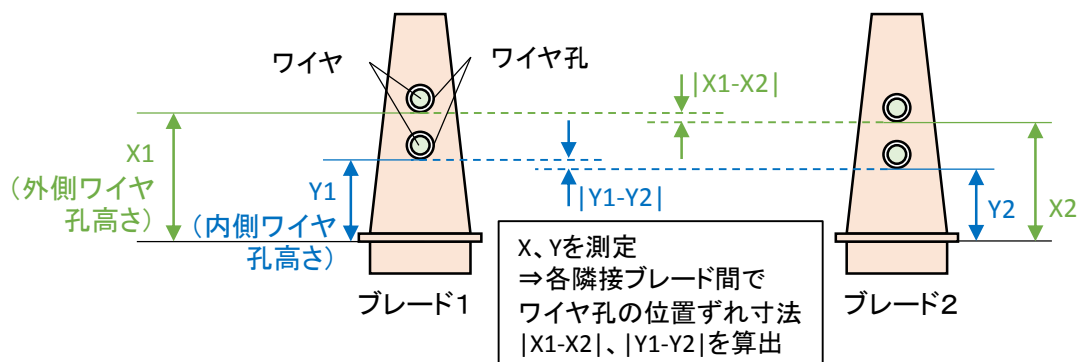


図1 ブレード取外し状態でのワイヤ孔位置測定について

2. 柏崎刈羽原子力発電所7号機D/G(B)レーシングワイヤ孔位置測定の判定基準について

過去にタービンブレードを取り外し・再取付けしていない過給機については、計画的にタービンブレードレーシングワイヤ孔の位置測定を行い、隣り合うブレードの孔位置の差（位置ずれ寸法）が一定の基準を逸脱しているものは、タービンブレードを新しいものに交換することとしている。柏崎刈羽原子力発電所1号機の原因調査結果及び福島第二原子力発電所3号機の点検結果を踏まえ、判定基準を以下の通りとする。

(a) 判定基準について

柏崎刈羽原子力発電所1号機の応力解析において、ワイヤ傾き角が大きくなるほど、タービンブレード背面側ファツリ部の応力振幅が大きくなることが確認された。また、図2のように、隣り合うブレード間の位置ずれ寸法が大きくなることにより、ワイヤ傾き角が大きくなることから、破損メカニズム上重要である隣り合うブレード間の位置ずれ寸法に対して、本件の判定基準を設ける。

ここで、柏崎刈羽原子力発電所1号機では、ワイヤ孔の位置ずれ寸法が0.89mm以下であったタービンブレードではき裂は認められなかったこと、及び本事象は、「ワイヤ孔の位置ずれ」と「塑性変形したタービンブレードの取り外し・再取付け」の重畳により発生したものと評価していることから、タービンブレードを取り外し・再取付けしていない過給機で、ワイヤ孔の位置ずれ寸法が0.89mmあってもき裂は発生しないと考える。

そこで相似則を用い、ワイヤ傾き角が、柏崎刈羽原子力発電所1号機での位置ずれ寸法0.89mmにおけるワイヤ傾き角と同様になるような位置ずれ寸法を型式ごとに算出し、その値から下記(b)項に記述する、ブレード取付け状態で位置ずれ寸法を測定する場合に発生するワイヤ孔位置ずれ寸法との最大差異を、保守的に差し引いた値を判定基準とする。

なお、各型式は基本的に相似設計であり、ある角度のワイヤの傾きで発生する応力振幅の影響は型式によらず、柏崎刈羽原子力発電所1号機の過給機型式と同等であるため、ワイヤ傾き角が、柏崎刈羽原子力発電所1号機での位置ずれ寸法0.89mmにおけるワイヤ傾き角以下であれば、き裂は発生しないものとする。

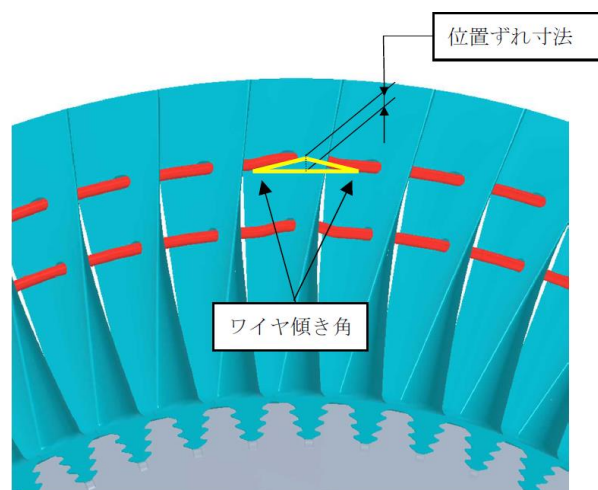


図2 隣接するタービンブレードのレーシングワイヤ孔位置ずれとワイヤ傾き角

(b) タービンブレード取付け状態でのワイヤ孔位置測定方法および本測定により発生するワイヤ孔位置ずれ寸法との差異について

タービンブレード取付け状態ではワイヤ孔端面までの寸法測定が難しいことから、タービンブレード先端から外側ワイヤ上端までの距離（Aとする）をノギスで測定し、隣接ブレードとの測定値の差を位置ずれ寸法とする。ワイヤが2列の場合、外側ワイヤ下端から内側ワイヤ上端までの距離（Bとする）をノギスで測定し、A、B及びワイヤ線径を足し合わせた値を算出し、隣接ブレードとの計算値の差をワイヤの位置ずれ寸法とする。（図3参照）

上記の測定方法ではワイヤの位置ずれ寸法を測定していることから、ワイヤ孔の位置ずれ寸法に対して、ワイヤ孔とワイヤとの隙間分が差異として発生する（図4参照）。福島第二原子力発電所3号機にて、ブレード取付け状態で本測定を実施し、図1の測定結果と比較検証したところ、ワイヤの位置ずれ寸法とブレード取外し状態で測定したワイヤ孔の位置ずれ寸法との差異が、設計上のワイヤ孔とワイヤとの隙間寸法以内になることを確認した。このため、本測定を用いた判定においては、当該の設計上の隙間寸法を保守的に差し引いた値を判定基準とする。

なお、今後より良い測定の実施に向けて、ロータシャフト軸芯からワイヤまでの距離の相対値を位置ずれ寸法として測定する方法を検討中である。今後測定方法を変更する場合には、必要に応じて判定基準を見直すこととする。

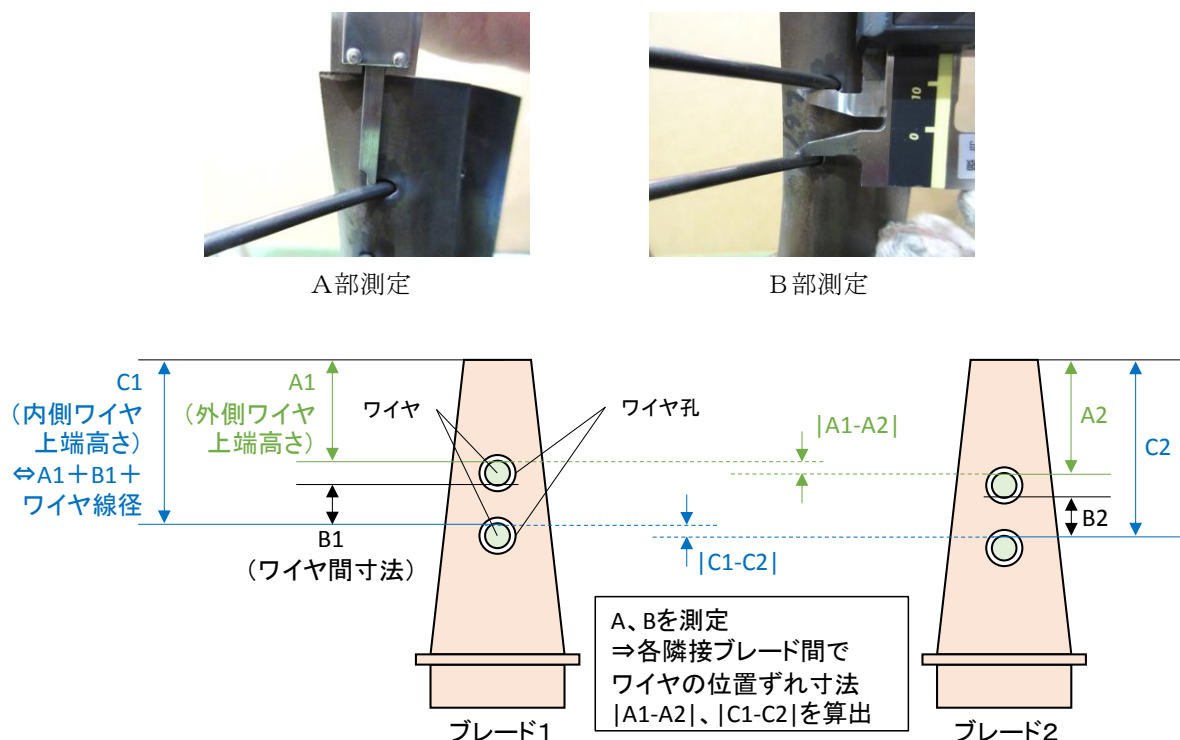


図3 ブレード取付け状態での孔位置測定イメージ（ワイヤ2列の場合）

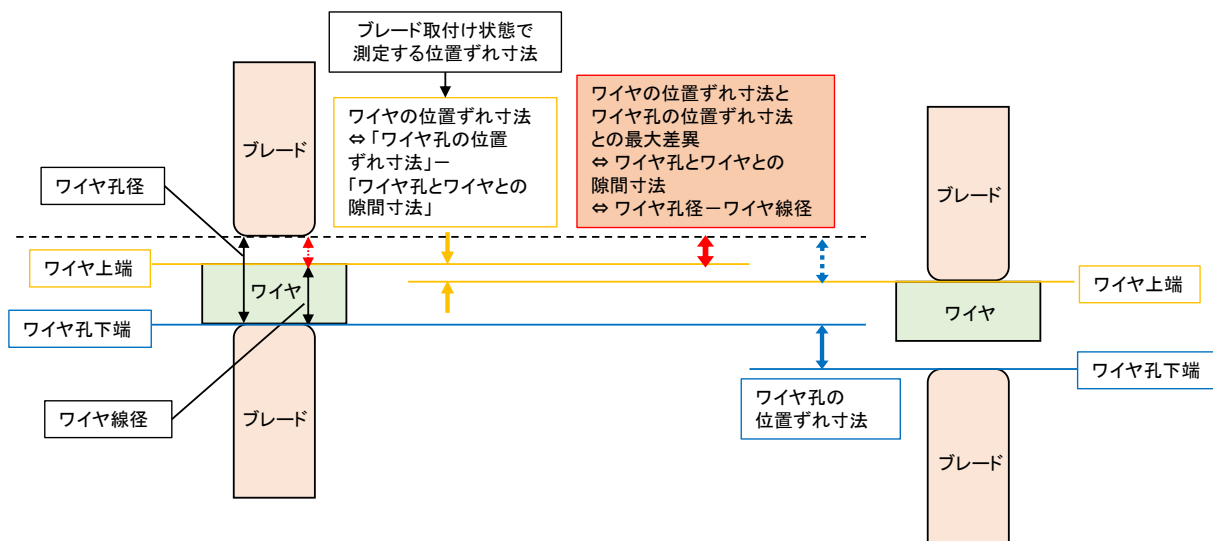


図4 ワイヤの位置ずれ寸法とワイヤ孔の位置ずれ寸法との差異について

3. 柏崎刈羽原子力発電所7号機D/G (B) の点検結果について

柏崎刈羽原子力発電所7号機D/G (B) は、タービンブレード取り外し・再取付けの実績がないことから、ワイヤ孔位置測定を行い、位置ずれ寸法が判定基準の値を超えている場合は、タービンブレードを新しいものに交換する。点検内容、点検結果及びブレード交換要否判定について以下の通り報告する。

(a) 点検内容

- ・タービンブレード取付け状態にて、レーシングワイヤ孔位置測定を実施した。

(b) 点検結果

- ・ワイヤ位置ずれ寸法は最大0.42mmであった。
- ・点検後のD/G試運転の結果、異常のないことを確認した。

(c) ブレード交換要否判定

- ・2. (a) (b) より、柏崎刈羽原子力発電所7号機の型式において、設計上のワイヤ孔とワイヤとの隙間寸法を考慮した判定基準は0.59mmである。点検結果より、判定基準の値を超える位置ずれ寸法が無いことから、ブレード交換不要と判断した。

4. 超音波探傷法によるファツリー部検査手法の開発状況について

開発中であるフェイズドアレイ法によるファツリー部のき裂検出について、疲労き裂を付与した模擬ブレードを用いた実証実験では、背面側2段目のくびれ部までき裂の検知が可能であることを確認した。背面側3段目のくびれ部については、入射角不足により現状では探傷不可であるため、現在探触子を改良中である。

本フェイズドアレイ法では、ファツリー部くびれ部にき裂があると、き裂があるくびれ部の端部エコーが増大すること、またき裂によってエコーが遮られ、その後段くびれ部の端部エコーが消失又は低減することにより、き裂有無の確認が可能である。

また、フェイズドアレイ法と併用して垂直探触によるUTも組み合わせることで、より確実にき裂を検知できるよう検討しており、垂直探傷によるUTの検知性についても検証を行っているところである。

実機での検証として、福島第二原子力発電所3号機で、タービンブレードがロータに組み込まれた状態でフェイズドアレイ法および垂直探傷法を実施した。その結果、き裂は確認されず、タービンブレード取外し後のPT検査の結果と一致することを確認した。

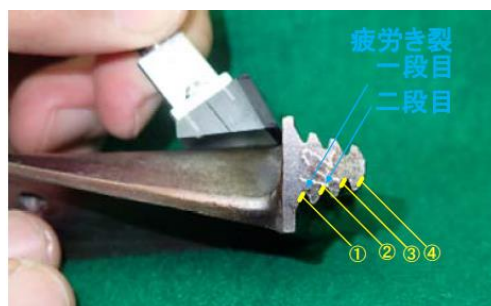
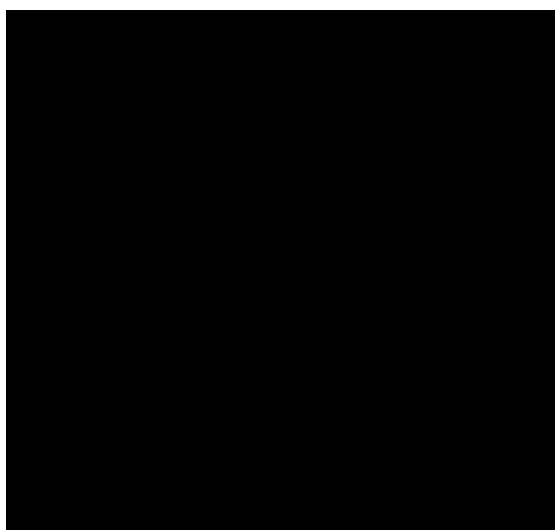
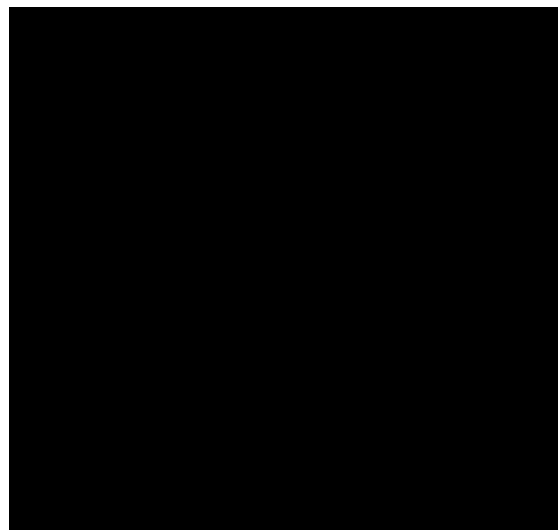


図5 フェイズドアレイ法探傷イメージ（受圧面側ファツリー部探傷の場合）



健全ブレードの探傷画像



受圧面側ファツリー部2段目くびれ部に疲労き裂を付与したブレードの探傷画像

図6 フェイズドアレイ法によるブレードファツリー部探傷画像