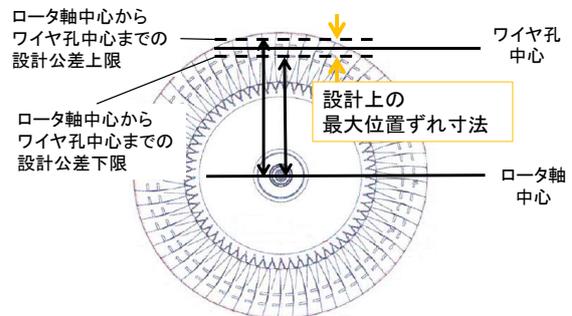


非常用ディーゼル発電機過給機の点検方法及び点検結果について

柏崎刈羽原子力発電所1号機で発生した非常用ディーゼル発電機（以下、D/Gという。）過給機軸固着事象の水平展開にあたり、レーシングワイヤ孔位置測定およびファツリー部非破壊検査について、以下に示す。また、2019年12月の面談以降に孔位置測定を実施した、同発電所4号機、5号機及び7号機D/Gの点検結果について報告する。

1. 継続使用可否の考え方について

ロータ軸中心から各タービンブレードワイヤ孔位置の寸法を計測し、隣り合うブレードとの孔位置ずれが、ロータ軸中心からワイヤ孔中心までの設計公差上限と下限との差（以下、設計上の最大位置ずれ寸法という（右図参照））以内であれば継続使用可能とする。

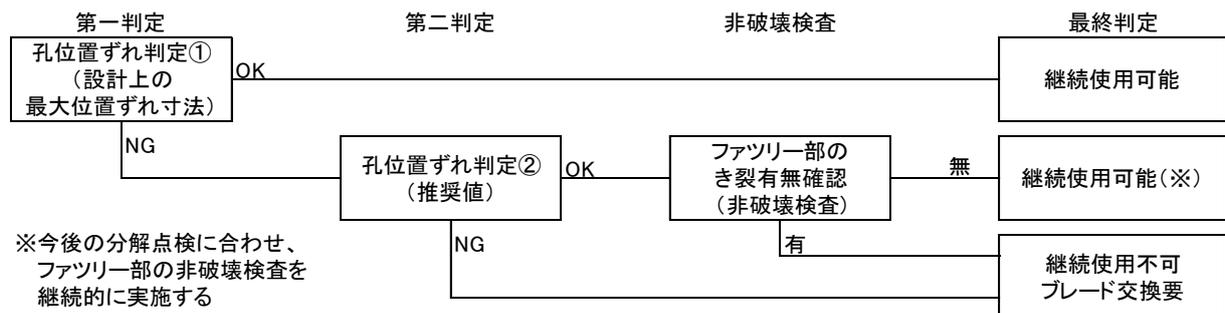


設計上の最大位置ずれ寸法を超えていた場合であっても、孔位置ずれがブレード交換基準のメーカー推奨値以下であり、かつファツリー部の非破壊検査を実施し、その結果き裂が認められなければ、継続使用可能とするが、今後の分解点検に合わせ、ファツリー部に対する非破壊検査を継続的に実施していく。孔位置ずれがブレード交換基準のメーカー推奨値を超えていた場合、または非破壊検査でき裂が認められた場合には、タービンブレードを交換する。

なお、運転によりワイヤ孔が摩耗し僅かに孔径が変化する可能性があるが、仮に摩耗が発生したとしても隣接するブレードも同一条件であり、摩耗が局所的に発生するわけではないため、ブレード間の孔位置ずれが拡大する要因にはならない。よって、継続的な孔位置測定は不要とする。

継続使用可否判定フロー及び設計上の最大位置ずれ寸法、ブレード交換基準メーカー推奨値は下記の通り。

○継続使用可否判定フロー



○孔位置ずれ判定値

発電所	号機	過給機設置箇所(※1)	孔位置ずれ判定① 設計上の 最大位置ずれ寸法	孔位置ずれ判定② ブレード交換基準メ ーカ－推奨値	(参考) ワイヤと 孔の隙間	(参考) レーシング ワイヤ列数 (※2)
福島第一 原子力 発電所	共通A	L側、R側	0.32mm	0.70mm	大	2列
	共通B	L側、R側	0.32mm	0.70mm	大	2列
	5号機A	G側、H側	0.31mm	0.70mm	小	2列
	5号機B	G側、H側	(G側)0.31mm	(G側)0.70mm	小	2列
			(H側)－(ブレード交換対象)			
	6号機A	G側、H側	0.31mm	0.70mm	小	2列
	6号機B	L側、R側	0.32mm	0.70mm	大	2列
福島第二 原子力 発電所	1号機A	L側、R側	0.33mm	0.70mm	大	1列
	1号機B	L側、R側	0.33mm	0.70mm	大	1列
	1号機H	L側、R側	0.33mm	0.70mm	大	1列
	2号機A	L側、R側	0.33mm	0.70mm	大	1列
	2号機B	L側、R側	0.33mm	0.70mm	大	1列
	2号機H	L側、R側	0.33mm	0.70mm	大	1列
	3号機A	L側、R側	－(ブレード交換対象)		大	2列
	3号機B	L側、R側	－(ブレード交換対象)(完了)		大	2列
	3号機H	L側、R側	－(ブレード交換対象)		大	2列
	4号機A	L側、R側	－(ブレード交換対象)		大	2列
	4号機B	L側、R側	－(ブレード交換対象)		大	2列
	4号機H	L側、R側	－(ブレード交換対象)		大	1列
	柏崎刈羽 原子力 発電所	1号機A	L側、R側	－(ブレード交換対象)		大
1号機B		L側、R側	－(ブレード交換対象)(完了)		大	2列
1号機H		L側、R側	－(ブレード交換対象)		大	2列
2号機A		L側、R側	(L側)－(ブレード交換対象)		大	2列
			(R側)0.32mm	(R側)0.70mm		
2号機B		L側、R側	0.32mm	0.70mm	大	2列
2号機H		G側、H側	0.22mm	0.60mm	小	1列
3号機A		L側、R側	－(ブレード交換対象)		大	2列
3号機B		L側、R側	－(ブレード交換対象)		大	2列
3号機H		G側、H側	0.22mm	0.60mm	小	1列

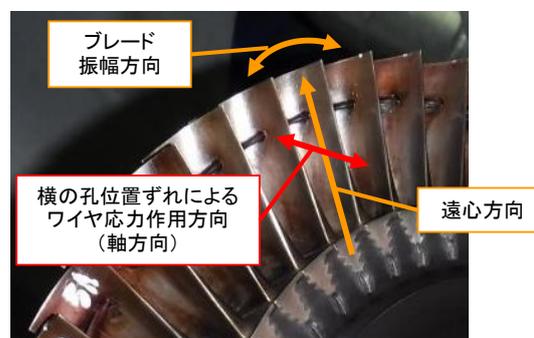
発電所	号機	過給機設置箇所(※1)	孔位置ずれ判定① 設計上の 最大位置ずれ寸法	孔位置ずれ判定② ブレード交換基準 メーカー推奨値	(参考) ワイヤと 孔の隙間	(参考) レーシング ワイヤ列数 (※2)
柏崎刈羽 原子力 発電所	4号機A	L側、R側	0.32mm	0.70mm	大	2列
	4号機B	L側、R側	0.32mm	0.70mm	大	2列
	4号機H	G側、H側	0.22mm	0.60mm	小	1列
	5号機A	L側、R側	0.32mm	0.70mm	大	2列
	5号機B	L側、R側	0.32mm	0.70mm	大	2列
	5号機H	G側、H側	0.22mm	0.60mm	小	1列
	6号機A	G側、H側	0.22mm	0.60mm	小	1列
	6号機B	G側、H側	0.22mm	0.60mm	小	1列
	6号機C	G側、H側	0.22mm	0.60mm	小	1列
	7号機A	G側、H側	0.22mm	0.60mm	小	1列
	7号機B	G側、H側	0.22mm	0.60mm	小	1列
	7号機C	G側、H側	0.22mm	0.60mm	小	1列

※1 D/G機関の2台の過給機の設置箇所を示す。設置箇所には以下2タイプがある。

- ✓ D/G機関の反カップリング側（発電機の反対側）上部に2台設置されているタイプ。
発電機側から見て左側の過給機をL側過給機、右側の過給機をR側過給機という。
- ✓ D/G機関のカップリング側（発電機側）上部と反カップリング側上部に1台ずつ設置されているタイプ。カップリング側の過給機をG側過給機、反カップリング側の過給機をH側過給機という。

※2 レーシングワイヤにはタービンブレードに1列設置されているタイプと2列設置されているタイプがあるためこれを示す。

なお、横方向にワイヤと孔の隙間寸法以上の孔位置ずれがあった場合には組立時にブレードを正しく組み込めなため、そのようなずれのあるものは納入されていないと考える。また、万が一ずれがあった場合においても、横方向の孔位置ずれによるワイヤ張力は今回損傷に至ったブレード振幅方向と異なることから、損傷メカニズムとは無関係である。よって、本件でのワイヤ孔位置測定では、高さ方向の位置ずれについて確認する。

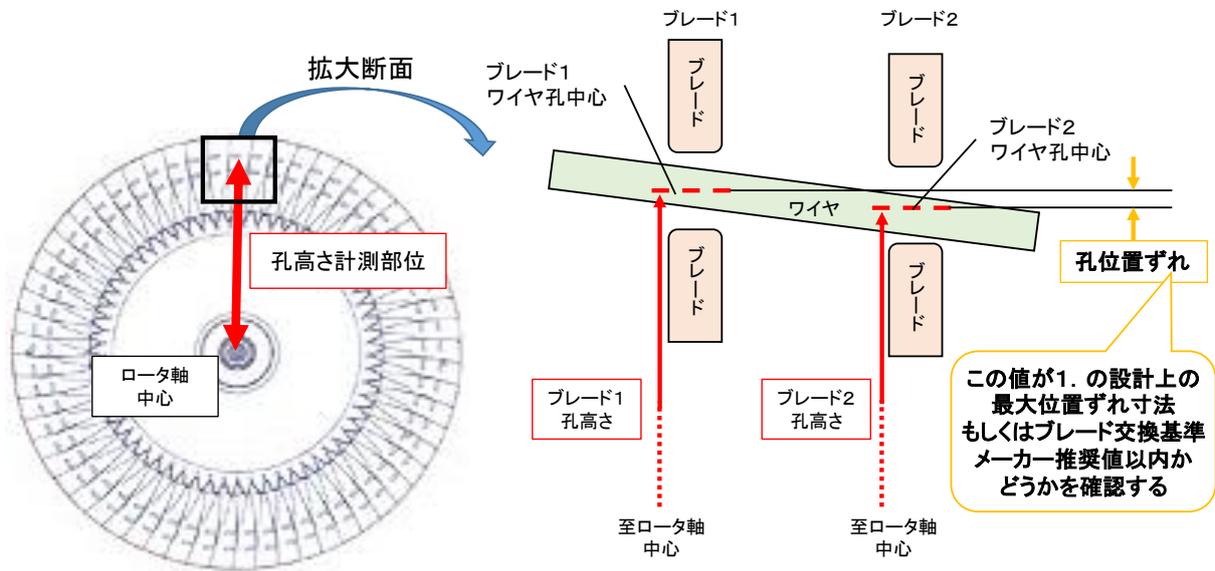


横方向の孔位置ずれによる応力作用方向

2. レーシングワイヤ孔位置測定方法

(1) ワイヤと孔の隙間が大きい型式

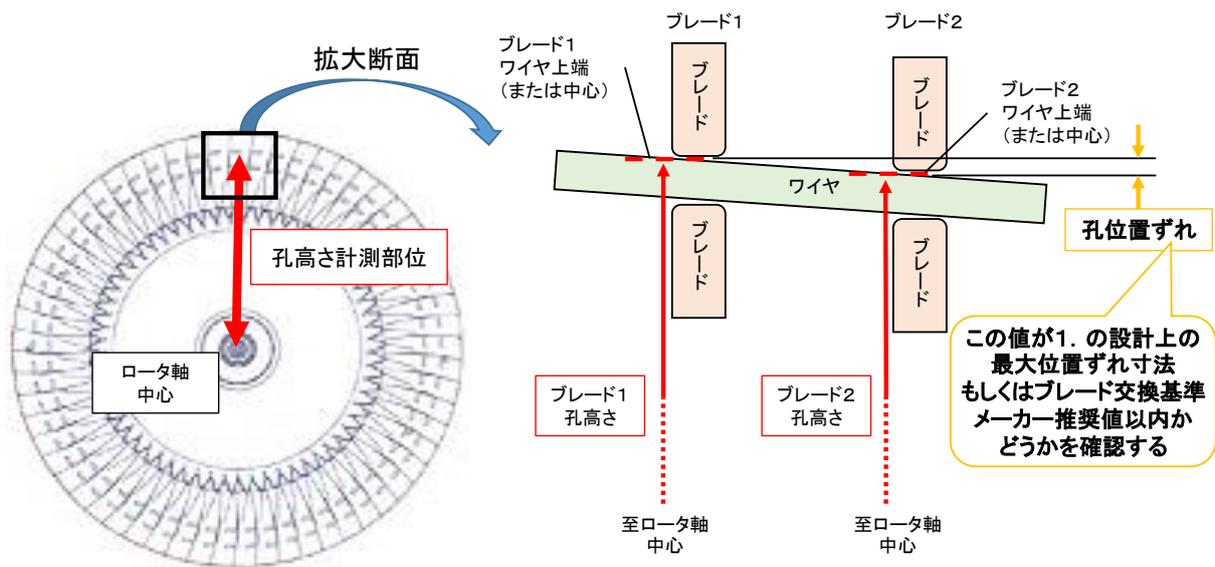
ロータ軸中心から各ブレードワイヤ孔中心までの寸法を計測し、隣り合うブレードとの差を算出する。



ワイヤと孔の隙間が大きい型式での測定

(2) ワイヤと孔の隙間が小さい型式

孔位置とワイヤ位置に生じ得る差が十分小さいことから、ロータ軸中心から各ブレードワイヤまでの寸法を計測し、隣り合うブレードとの差を算出する。



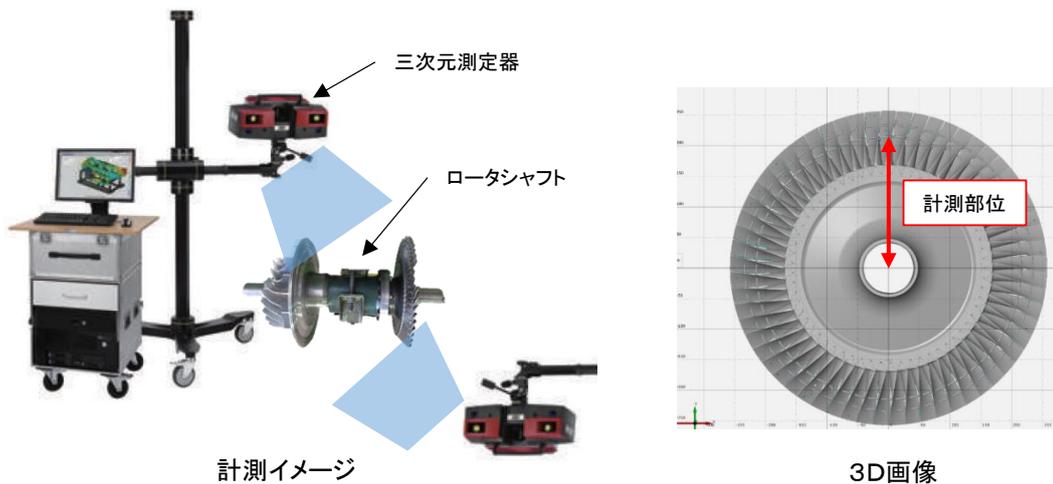
ワイヤと孔の隙間が小さい型式での測定

(3) 測定装置

測定装置については、現在のところ以下の2例について成立性を確認済みである。

○測定例1：3次元計測器による測定

非接触であるため、孔位置を直接測定することが可能。(1) ワイヤと孔の隙間が大きい型式において高精度で測定可能であることを確認済み。



○測定例2：専用計測器による測定

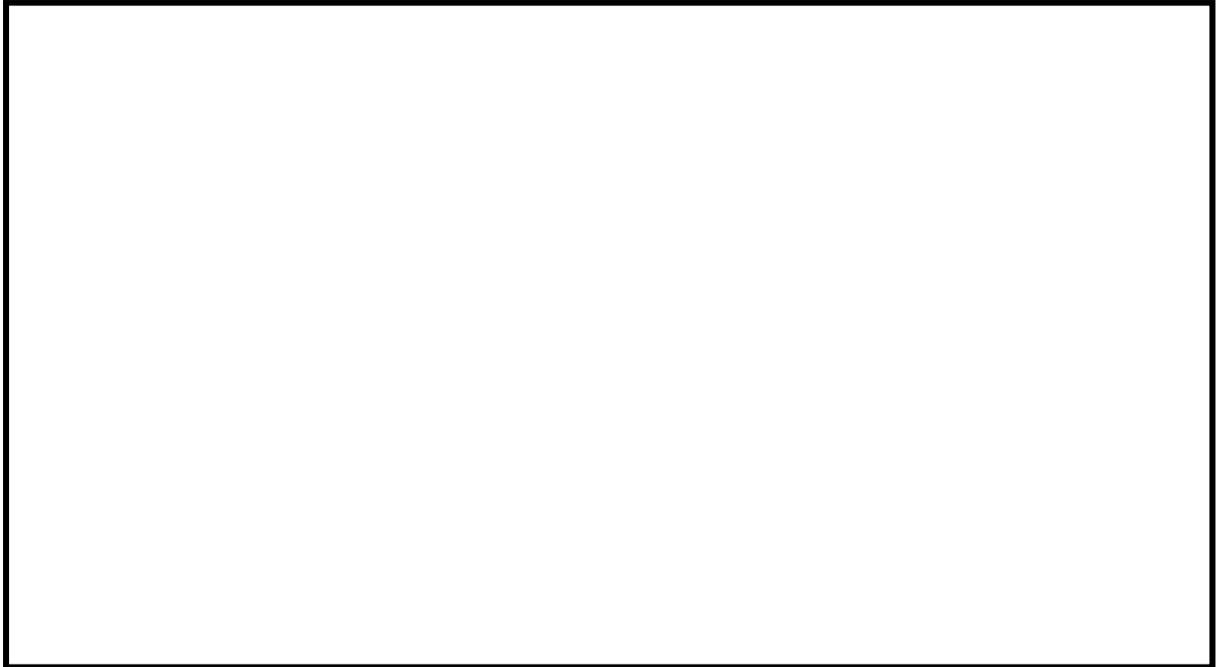
測定基準がロータ軸中心で固定されるため、従来の汎用ノギスでの測定と比較して、測定精度が向上。(2) ワイヤと孔の隙間が小さい型式において高精度で測定可能であることを確認済み。



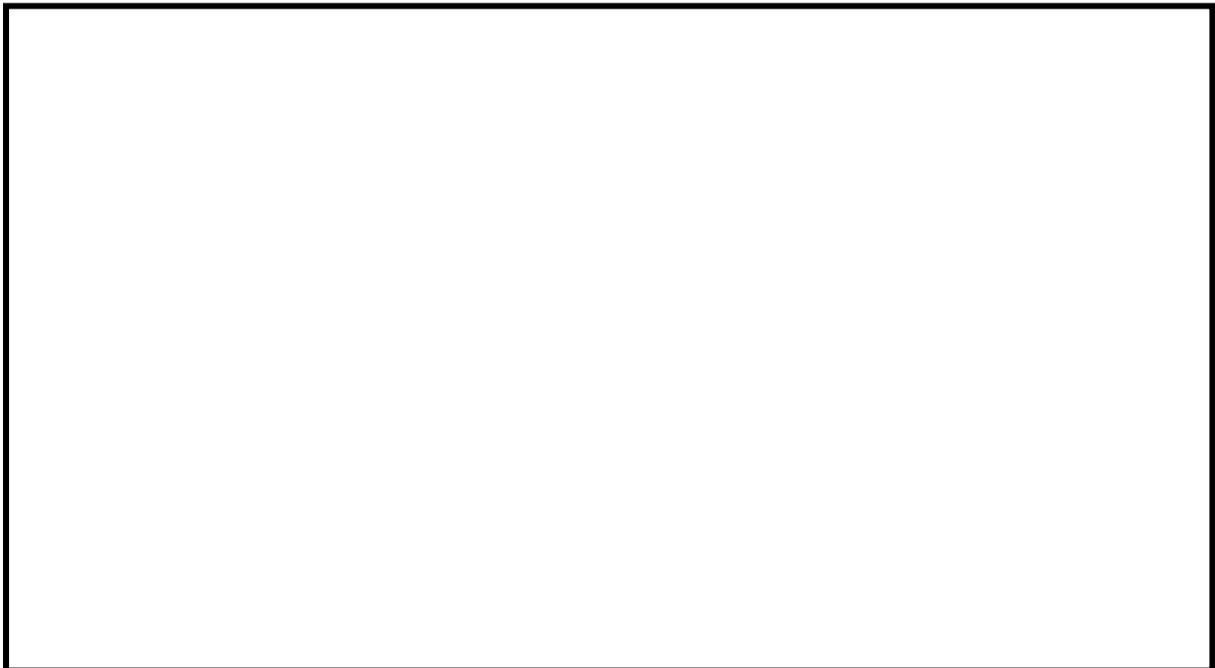
3. 超音波探傷法（UT）によるファツリー部非破壊検査について

開発を進めているフェイズドアレイUTについて、実機ブレード及び模擬ブレードを用いて検証を行い、ブレードファツリー部すべてのくびれ部のき裂検出が可能であることを確認した。

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。

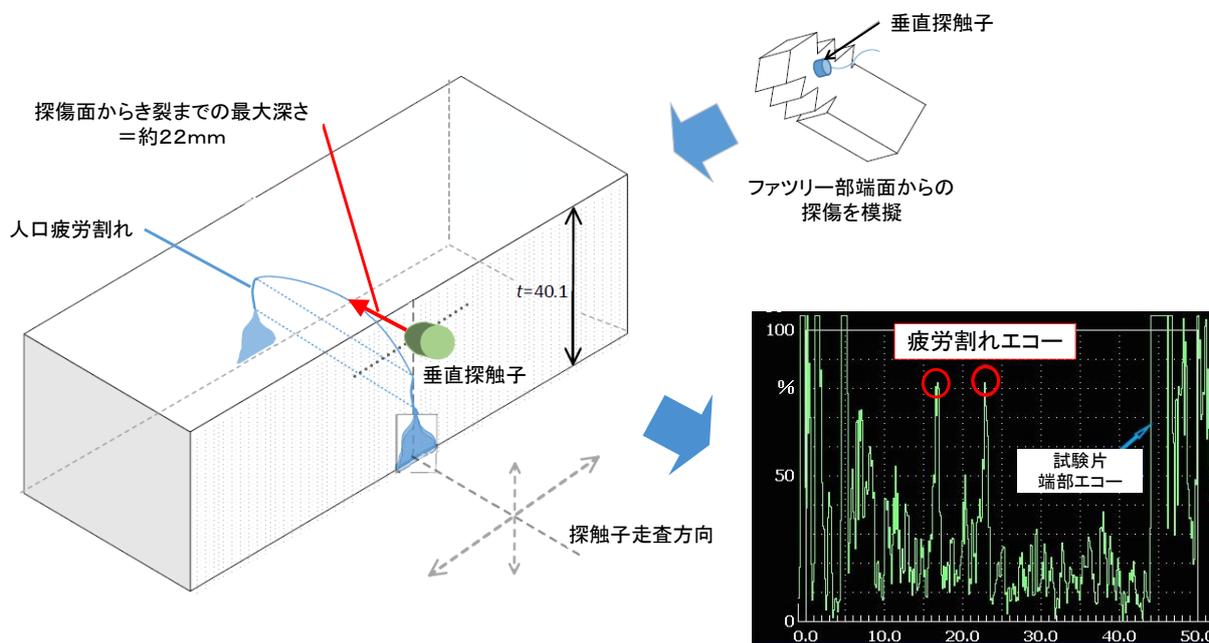


フェイズドアレイ法によるブレード背面側ファツリー部の探傷画像



フェイズドアレイ法によるブレード受圧面側ファツリー部の探傷画像

また、ファツリー部端部からの垂直探傷についても、下図に示す疲労割れ試験片を用いて検証を行い、き裂エコーが検出されることより、有効であることを確認した。



人工疲労割れ試験片を用いた垂直探傷法の有効性確認

本フェイズドアレイ法及び垂直探傷法は、いずれもブレード組み込み状態で実施する。フェイズドアレイ法による探傷では、ブレード面の曲率や狭隘部での作業を考慮する必要があるが、小型の探触子を用いることで、き裂の検出が可能であることを確認している。実機での検査の際は、フェイズドアレイ法及び垂直探傷法を併用することで、より確実にき裂を検出できると考えている。

これをもって本UTはファツリー部検査に資するものと判断し、当社は1.において設計上の最大位置ずれ寸法を超えたものに対しては、分解点検に合わせて本UTを実施し、健全性を継続監視していく。

4. 柏崎刈羽原子力発電所4号機、5号機および7号機D/Gの点検結果について

(1) 柏崎刈羽原子力発電所5号機D/G (B) の点検結果について

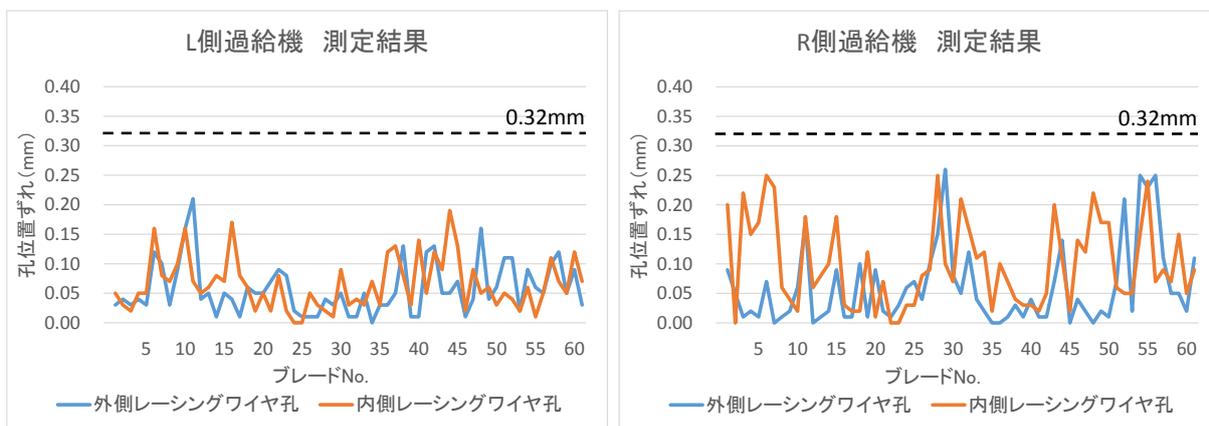
柏崎刈羽原子力発電所5号機D/G (B) のワイヤ孔位置測定を行ったことから、点検内容、点検結果及び継続使用可否判定について以下の通り報告する。

a) 点検内容

- ・本D/GにはL側過給機及びR側過給機が設置されており、それぞれタービンブレードに対し外周側、内周側の2列にレーシングワイヤが取り付けられている。本過給機はワイヤと孔の隙間が大きい型式であるため、3次元計測器を用い、2.(1)の方法で各過給機の外側・内側レーシングワイヤ孔位置測定を実施した。

b) 点検結果

- ・孔位置ずれは最大0.26mmであった。



c) 継続使用可否判定

- ・本過給機の設計上の最大位置ずれ寸法は0.32mmであり、点検結果よりこれを超える孔位置ずれが無いことから、継続使用可能と判断した。なお、点検後のD/G試運転の結果、異常のないことを確認した。

(2) 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

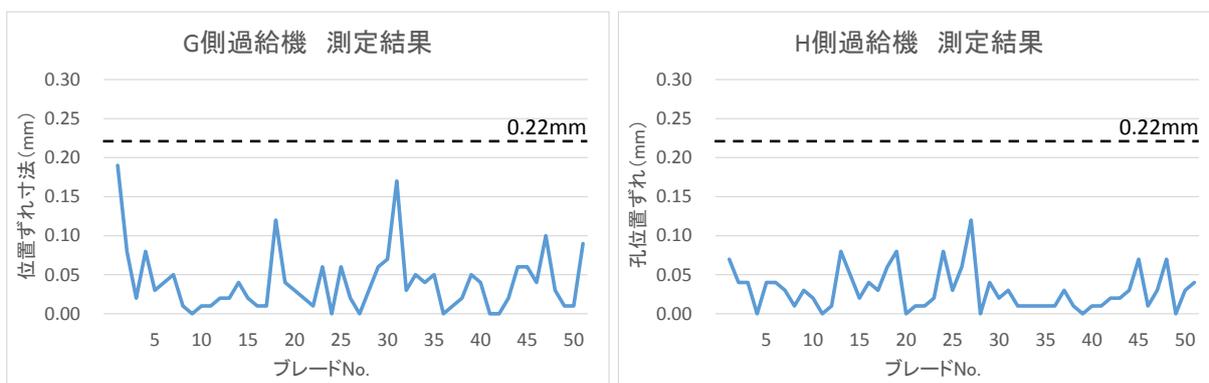
柏崎刈羽原子力発電所7号機D/G (B) は、2019年11月にワイヤ孔位置測定を行って
いるが、汎用ノギスを用いた当時の測定方法では精度が十分でない可能性が高いことから、再計
測を実施した。点検内容、点検結果及び継続使用可否判定について以下の通り報告する。

a) 点検内容

- ・本D/GにはG側過給機及びH側過給機が設置されており、それぞれタービンブレードに対し
1列のレーシングワイヤが取り付けられている。本過給機はワイヤと孔の隙間が小さい型式で
あるため、専用計測器を用い、2.(2)の方法で各過給機のレーシングワイヤ位置測定を実施
した。

b) 点検結果

- ・孔位置ずれは最大0.19mmであった。



c) 継続使用可否判定

- ・本過給機の設計上の最大位置ずれ寸法は0.22mmであり、点検結果よりこれを超える孔位
置ずれが無いことから、継続使用可能と判断した。なお、点検後のD/G試運転の結果、異常
のないことを確認した。

(3) 柏崎刈羽原子力発電所7号機D/G (C) の点検結果について

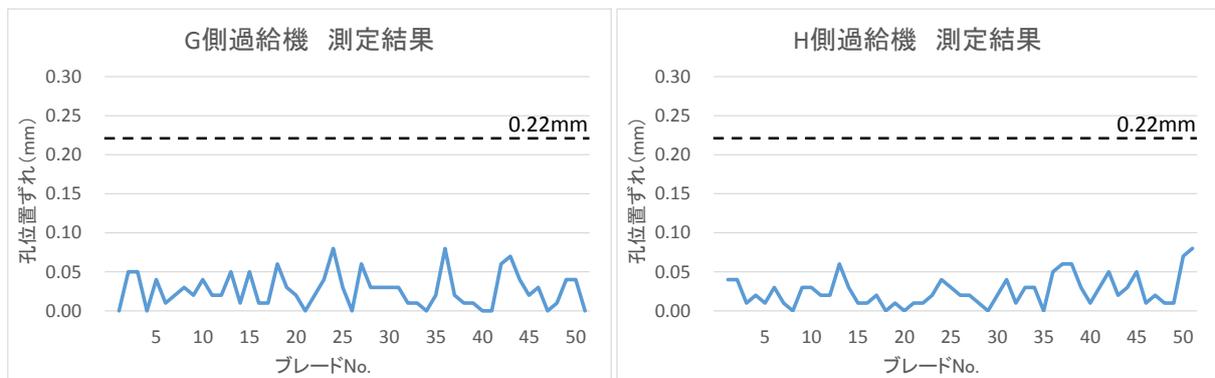
柏崎刈羽原子力発電所7号機D/G (C) のワイヤ孔位置測定を行ったことから、点検内容、点検結果及び継続使用可否判定について以下の通り報告する。

a) 点検内容

- 本D/GにはG側過給機及びH側過給機が設置されており、それぞれタービンブレードに対し1列のレーシングワイヤが取り付けられている。本過給機はワイヤと孔の隙間が小さい型式であるため、専用計測器を用い、2.(2)の方法で各過給機のレーシングワイヤ位置測定を実施した。

b) 点検結果

- 孔位置ずれは最大0.08mmであった。



c) 継続使用可否判定

- 本過給機の設計上の最大位置ずれ寸法は0.22mmであり、点検結果よりこれを超える孔位置ずれが無いことから、継続使用可能と判断した。なお、点検後のD/G試運転の結果、異常のないことを確認した。

(4) 柏崎刈羽原子力発電所4号機D/G (A) の点検結果について

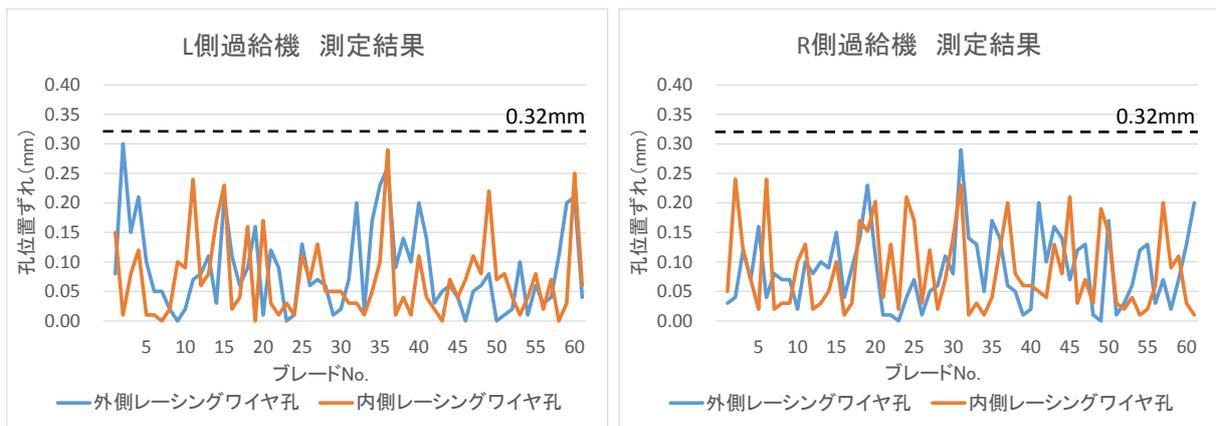
柏崎刈羽原子力発電所4号機D/G (A) のワイヤ孔位置測定を行ったことから、点検内容、点検結果及び継続使用可否判定について以下の通り報告する。

a) 点検内容

- 本D/GにはL側過給機及びR側過給機が設置されており、それぞれタービンブレードに対し外周側、内周側の2列にレーシングワイヤが取り付けられている。本過給機はワイヤと孔の隙間が大きい型式であるため、3次元計測器を用い、2.(1)の方法で各過給機の外側・内側レーシングワイヤ孔位置測定を実施した。

b) 点検結果

- ワイヤ孔位置ずれ寸法は最大0.30mmであった。



c) 継続使用可否判定

- 本過給機の設計上の最大位置ずれ寸法は0.32mmであり、点検結果よりこれを超える孔位置ずれが無いことから、継続使用可能と判断した。なお、点検後のD/G試運転の結果、異常のないことを確認した。

以上