

# 原子力施設等における事故トラブル事 象への対応に関する公開会合 第5回議事録

平成31年3月18日（月）

原子力規制庁

（注：この議事録の発言内容については、発言者のチェックを受けたものではありません。）

原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合  
第5回  
議事録

1. 日 時：平成31年3月18日（月）14:00～16:38

2. 場 所：原子力規制委員会 13階B,C会議室

3. 出席者

(1) 原子力規制委員会

古金谷敏之 安全規制管理官（実用炉監視担当）  
平田 雅己 実用炉監視部門上席監視指導官  
大江 勇人 実用炉監視部門主任監視指導官  
畠山 凌輔 実用炉監視部門係員  
高須 洋司 専門検査部門統括監視指導官  
川下 泰弘 専門検査部門企画調査官  
小澤 正義 システム安全研究部門統括技術研究調査官  
菊池 正明 システム安全研究部門技術参与  
水野 大 柏崎刈羽原子力規制事務所統括原子力運転検査官  
（テレビ会議システム）  
片岡 一芳 原子力規制企画課原子力規制専門職  
古作 泰雄 検査監督総括課課長補佐

(2) 事業者

東京電力ホールディングス株式会社

村野 兼司 原子力運営管理部 部長  
櫻井 秀夫 原子力運営管理部 保守管理G GM  
安達 晃栄 原子力運営管理部 運転管理G GM  
園田 裕信 柏崎刈羽原子力発電所 第一保全部 部長  
竹本 尚史 柏崎刈羽原子力発電所 第一保全部 原子炉G GM  
熊谷 克彦 経営技術戦略研究所 技術開発部 材料・化学エリア  
主席研究員  
品川 直樹 原子力運営管理部 運転管理G 主任  
栗田 隆 柏崎刈羽原子力発電所 第一保全部 原子炉G 副長  
桑原 仁 柏崎刈羽原子力発電所 第一保全部 原子炉G 主任

#### 4. 議 事

- (1) 柏崎刈羽原子力発電所1号機 非常用ディーゼル発電機(B)の異常について
- (2) その他

#### 5. 配付資料

- 資料1 柏崎刈羽原子力発電所1号機 非常用ディーゼル発電機(B)の過給機軸固着について【概要版】
- 資料2 柏崎刈羽原子力発電所1号機 非常用ディーゼル発電機(B)の過給機軸固着について

## 6. 議事録

○古金谷安全規制管理官 原子力規制庁実用炉監視部門の管理官をしております古金谷でございます。今日の司会進行を務めさせていただきます。よろしくお願いいたします。

では定刻過ぎましたので、これから第5回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合を始めたいと思います。

本日の議題は、東京電力の柏崎刈羽原子力発電所の1号機で発生いたしました非常用ディーゼル発電機（B）の過給機軸固着についてでございます。これは先般、法令に基づく報告書の提出を東京電力からいただきましたので、本日はその内容につきまして、まず東京電力のほうから御説明をいただきまして、その後その報告書の内容について質疑をさせていただくという形で進めたいと思います。

質疑の内容、ここで答えできるものであればお答えいただいて、それでもし本日難しいということであれば、また後日こういった場、あるいは報告書の中身を差しかえる、あるいは補正するというような形で対応を進めたいと思いますので、ぜひよろしくお願いいたします。

では最初に東京電力のほうから報告をいただいた内容の概要につきまして、資料1、パワーポイントを御用意いただいておりますので、そちらに沿った形で御説明よろしくお願いいたします。

○村野東京電力原子力運営管理部部長 東京電力、村野と申します。場を設定していただきありがとうございます。

本日は3月5日に提出させていただきました柏崎刈羽原子力発電所1号機の当該の案件に関する報告書、原因・対策についてであります。パワーポイントを使いまして、まず概要を安達から説明をさせていただきます。よろしくお願いいたします。

○安達東京電力運転管理グループGM それでは、弊社柏崎刈羽1号機非常用ディーゼル発電機（B）過給機軸固着について原因と対策、取りまとめましたので、概要についてポイントを絞って御説明いたします。

まずおさらいになります。今回軸固着が確認されたR側の過給機、こちらをメーカー工場にて詳細に点検しましたところ、大きな部品のうち大きく3点について、特に大きな損傷が確認されてございます。まず一つが今回折損しておりますタービンブレード、こちらのほうの折損を確認してございます。あとはこちらのレーシングワイヤ、タービンブレード、振動を押さえるための、こちらレーシングワイヤの一部が脱落しているといったことが確認されてございます。

もう一つ、こちらのタービンの軸ロータ、こちらを両側で2か所のベアリングで回転体を支えておりますが、そのうちのタービン側のベアリング、こちらについても大きく損傷が確認されてございます。またこちらお写真ございませんが、もう片方、L側の過給機についても、当初発電所での点検では異常が確認されてございませんが、メーカー工場の詳細点検の結果、こちらのR側と同様に、タービンブレード及びロータ側のファツリ一部に

亀裂が確認されております。

本日こちらタービンプレードとレーシングワイヤ、こちらの健全部の部品をお持ちしてございます。これから皆様のほうに、お席のほう、お持ちしますので、プレゼンの間、適宜御確認いただければと思います。こちらもおさらいになります。大きく損傷が確認されたタービンプレード、レーシングワイヤ、ベアリング、あるいはその他の損傷部位について、どこが起点部位になるのか、整理してございます。ベアリングあるいはレーシングワイヤについては、瞬間的な応力、せん断、破断、こちらによって示されたディンプル模様が確認されていること。またベアリングについても一部のころ、こちらの円柱状の物体に瞬間的に力が加わったことによって潰れが確認されていること。

一方タービンプレードについては、破面より疲労破壊を示すストライエーション模様、あとこの破面の一部には煤等の汚れが確認されている、こういった事象の時間軸を整理しますと、事象の進展についてはタービンプレードの折損が起点部位であるというところを整理してございます。またその他の部位についても、タービンプレードの破損、折損を起点として、従属的に発生したものというふうに整理してございます。また、L側のタービンプレード、ロータファツリー部についても、同様に疲労破壊を示すストライエーション模様が確認されております。

続きましてタービンプレードの疲労破壊、こちらについて要因分析表に基づき調査をしてございます。結論としては大きく二つの要因によって、タービンプレードが疲労破損に至ったと整理してございます。一つはタービンプレードの加工時、一番最初の製造時に、レーシングワイヤ、タービンプレードに孔をあけてレーシングワイヤを破断する、こちらの孔、孔の位置、特に高さのほうは、設計値よりずれている。また隣接するタービンプレードで、この位置のずれが大きい部位が何か所かあるといったことが確認されてございます。

二つ目が、組み立て時の不良といったところで、今回柏崎刈羽1号機（K-1）の当該過給機については、弊社柏崎刈羽2号機、こちらの過給機による不具合の水平展開といったところで、過去に1度取り外して、また改めて同じものを再取りづけ、こちらをやってございます。その再取り付けの際に、ファツリー部、いわゆるタービンプレードをロータに埋め込む部の当たり状態が変化したのではないかと。その当たり状態を変化させる助長した要因として、腐食や汚れ、過給機の運転による酸化、あるいは煤等の汚れの付着、これが当たり状態の変化を助長したのではないかと。

もう一つが、こちらのタービンの運転時の熱膨張や熱収縮、あるいはこちらのタービンプレード自体が塑性領域で用いますので、そういった塑性変形等がファツリー部の当たり状態の変化に寄与したのではないかと、大きくレーシングワイヤの孔の位置ずれ、ファツリー部の形状の変化、経時的変化、こちら二つの要因を整理してございます。

まず一つ目。レーシングワイヤの孔の位置ずれ、これがどうやってタービンプレードの疲労破壊に寄与したかといった観点を整理してございます。

今回この青い部分のタービンプレードに対して、レーシングワイヤ、この孔の位置がどうなっているかを計測したところ、幾つかのタービンプレードについて、この隣接するレーシングワイヤの孔の位置、こちらに高低差、孔の高さの位置ずれがあるといったことが確認されてございます。

真ん中の図がそれを模式的に示したのですが、通常であれば設計の範囲内で位置が確定していれば、レーシングワイヤについては特段の変異を伴うことなく、真っすぐといった状態になりますが、一部について孔の位置ずれがあった場合には、隣の隣接するレーシングワイヤの孔の位置と相対的に変化して、若干このレーシングワイヤが曲がってしまう、いわゆる青いタービンプレードに対して若干の角度をもってタービンプレードが接してしまうといったことが確認されてございます。具体的な位置のずれとしては、このレーシングワイヤの孔の直系が大体3mmなんですけど、それに対して最大で約1.6mm程度のずれがあるといったことを確認されてございます。

このようにレーシングワイヤの位置がずれた場合に、どのようにタービンプレードに応力がかかるかといったところなんですけども、今回解析によりこの青いブレードに対してグレーの破線に対して、タービンのレーシングワイヤが時計方向に若干傾いたといった場合を想定します。この場合、時計方向にこのずれを生じた場合に、特にタービンプレードの背側、こちらのほうにかかる応力が大きくなる、応力振幅が大きくなるといったところが解析上確認されております。

この傾きが反対側、反時計方向に傾いた場合には、あまり極端には応力振幅、大きくならないんですが、特に時計方向にレーシングワイヤの角度がずれて作用した場合に、背側の応力振幅が大きくなるといったところが解析上確認されてございます。なので、今回このレーシングワイヤの孔の位置ずれといったものがR側、L側、いずれもタービンプレードの背側にひびが発生しておりますので、こういったことが一つの要因としてあるのではないかというふうに整理してございます。またこの孔の位置ずれについては、タービンプレードの製造時、こちらの加工不良というふうに考えております。

続きましてタービンプレードのファツリー部、いわゆる根元部の経時的変化、こちらの当たり変化がどのようにタービンプレードの破損に影響したかといったことを整理してございます。

今回タービンプレードの根元、ファツリー部と言われるところ、いわゆるロータ側のグレーの部分とタービンプレードの根元、水色の部分、こちらのいずれも三次元計測、寸法計測しております。その結果、この寸法値で一部設計値を逸脱しているといったことが確認されております。具体的には若干クリアランスが狭くなる方向、物体として太くなる方向の変化が確認されております。

こういったところが設計当初は設計の公差の中で、公差の中のずれをもって一定のクリアランスが確保されているというふうに考えられますが、一体を組み込んだ後の運転を経験して、熱膨張や収縮、あるいは塑性領域で使う塑性変形、あるいは運転中の酸化や煤、

こちらの煤等がクリアランスに浸入して、やがて運転中固化密着するといった状態が想定されます。

そういった状態が、今回柏崎刈羽2号機（K-2）のトラブルの水平展開で、一旦このブレードを取り外して、改めて同じものを取りつけたといった際に、当初は一定のクリアランスをもって組みつけられたものが、蓋然性をもって一部に片当たりの状態が発生したのではないかとといったところを推定してございます。片当たりした場所については、恐らく応力振幅の影響を受けやすい、背側の部分の片当たりが特に影響しているのではないかとというふうに整理してございます。

続きましてその二つの要因、レーシングワイヤの孔の位置ずれ及びファツリー部根元のところの当たり状態の変化、この二つの要因について、それがどのように疲労破壊に影響を及ぼすのか解析をしてございます。レーシングワイヤの孔高さの位置ずれについては、どのように解析上模擬しているかといいますと、具体的にはそれはタービンブレードにはレーシングワイヤが作用する角度のずれとして表れます。なので、レーシングワイヤの孔の位置ずれとしては作用角はなし、いわゆる当初の設計どおりにぴったりと水平方向に当たっている場合、あるいは $5^{\circ}$  少しずれた場合、 $10^{\circ}$  ずれた場合といったところで、レーシングワイヤの高さの位置のずれを、ワイヤがタービンブレードに接する角度のずれとして整理してございます。

一方、タービンブレードのファツリー部の根元の当たり状態の変化、こちらについては通常の場合、こちらが大きく変形等がない場合と、特に影響を受けやすい背面側のすき間が狭くなった場合、こちらを幾つかケースとして整理してございます。大きくこの二つのパラメータをパラメータ・スタディしたところ、いずれも通常の場合、特にすき間に異常がない場合については、修正グッドマン線図で示すところの、こちらが一番右下の塊になります。

大きくは角度がずれた場合でも、そんなに大きく応力振幅のほうには影響しないというふうなところが整理してございます。ただし、背面側のすき間をより狭くした場合、さらにレーシングワイヤの作用する角度をよりきつくした場合については、一部については修正グッドマン線図の線上に、あるいは線を超えてしまう、いわゆる疲労破壊の領域に入ってしまうといったところが解析上確認しております。この整理をしますと、いわゆる通常状態、ファツリー部のすき間のクリアランスが一定状態に保てる場合については、いずれも疲労破壊に至らないといったところは整理してございますので、こちらの修正グッドマン図からも、支配的な要因はレーシングワイヤの角度の当たり、こちらのずれが要因としては支配的なのではないかと。それに対して背面側、背側のほうのクリアランスの狭さ、こちらの形状の当たり変化が副次的な要因として作用しているのではないかとというふうに整理しております。

以上、原因としましては、レーシングワイヤの孔の製造時の加工不良、これによってレーシングワイヤの孔高さの位置がずれて、タービンブレードの背側に過大な応力が発生し

たといったことが一つ目。

二つ目がタービンプレードの取り外し、再取り付け、こちらによってタービンの運転中の熱膨張や収縮、あるいは塑性変形等によってファツリー部の当たり状態が片当たりの状態になっていないかと、こちらのほうが二つ目の要因として整理してございます。

事象、当該ディーゼル発電機（D/G）が発電機出力0MWに至る大きなメカニズムとしては、三つに整理してございます。一つが当該タービンプレードの折損に至る状態。次に折損を起因としてR側の過給機が軸固着する状態。次にR側過給機の軸固着を起点として、当該D/Gの出力が下るといった、大きく三つのメカニズムが整理できます。

以降二つについては、先般の御説明から大きく変更はございませんので、一つ目、タービンプレードの疲労破壊、こちらのメカニズムについて御説明いたします。

こちらタービンプレードの初期状態になります。タービンプレードの初期状態については、ファツリー部の根元、こちらについては設計の公差の範囲内で、一定のクリアランスが確保されているといった状態になります。この状態によってタービンが運転した場合に、鉛直方向に遠心力が作用します。

またタービンの排気を受け、排気ガスがこちらのいわゆる受圧面側、こちらのほうに受けることとなります。これが初期状態となりますが、今回この赤線のレーシングワイヤの施工時に孔の位置ずれがあったといったことから、こちらの①模式図で示したように、若干の傾きが発生していると。そういった場合に、特にこの角度が反時計方向にずれた場合には、タービンプレードの背側に、特に大きな応力振幅が発生するといったことが確認されております。これによってタービンの運転により、あるいはまたレーシングワイヤの傾きにより、タービンプレードの背側に過大な応力がかかったといったところが考えられます。

また、当初一定のクリアランスをもって取り付けられたファツリー部ですが、これがD/Gの運転に伴う熱応力や熱収縮、あるいはこのすき間等への煤、酸化スケールの蓄積等により、すき間がだんだん埋まってくるといったことが想定されています。腐食酸化スケールや煤等については、運転状態が出れば発生してしかるべきものですが、今回K-1については特に他号機の水平展開ということで、このタービンプレードを一旦取り外して、手入れをして、また同じものを再取り付けしたところを経験してございます。そういった観点から、特に影響を受けやすいタービンプレードの背側について、蓋然性をもって片当たりの状態が出たといったところが考えております。

このようなタービンプレード根元の背側に片当たりの状態が発生している。またレーシングワイヤが孔の位置ずれのように角度がついてしまい、タービンプレードの背側に特に大きな応力振幅がかかってきたと。その状態で排気ガス、こちらの脈動によりこの振れが発生して、やがてファツリー部の根元、特に恐らくはクリアランスが特に小さくなっている、片当たりの状態が発生している場所から亀裂が発生して、やがて折損したのではないかとといったところをメカニズムとして整理しております。



これを踏まえまして、対策です。まず当該D/G、R側及びL側については、タービンブレード及びロータシャフト、こちらを新製して復旧いたします。その他非常用ディーゼル発電過給機の新製、及び既設非常用ディーゼル発電機、こちらを含めた過給機の保守管理に際しては大きく二つ、タービンブレードの製造時、孔加工時にはきちんとレーシングワイヤの孔高さ、設計値要求を満たしていること、こちらを確認いたします。

二つ目、保守管理に係る対策としては、タービンブレードの取り外しがもし必要となった場合には、再利用せず新製してタービンブレードを新製するといったところを対策としております。

最後に水平展開です。今回整理しました要因、一つ孔の位置ずれ、もう一つはタービンブレードの再取り付け、こちらでやったことを踏まえまして、過去にタービンブレードの取り外し、再取り付け、再利用の実績ある過給機全てを対象としまして、以下の点検を実施します。大きくは二つです。

一つ目がレーシングワイヤの孔高さ、こちらを測定して所定の位置にあるかどうか。二つ目がタービンブレードのファツリ部の亀裂の有無、こちらを確認するということいたします。それを踏まえまして、同事象が発生する可能性を評価、今回K-1との違い、部材とか材料の違い、そういったものを踏まえて評価をし、必要に応じタービンブレードとの交換を実施するといったところを水平展開として考えております。

内容の御説明、以上になります。

○古金谷安全規制管理官 どうも説明ありがとうございました。

では質問タイムに入りたいと思いますけれども、質問が発散しないようにということで、できれば順を追って質問をしたいなというふうに思いますので、今日御説明いただいたところを中心に質疑応答したいと思いますけれども、それ以外、報告書の中身も含めて御質問は受け付けたいと思いますので、その辺も東京電力のほう、可能なら答えていただければというふうに思いますので、よろしく願いいたします。

では今日御説明いただいた資料の内容に沿って、質疑をさせていただければと思うんですけれども、まず資料の5ページ、特にSEM観察、あるいはベアリングの点検結果というところございますけれども、こういった破壊のところの様相、そういったところで特に何か報告書の内容、あるいはここに紹介されている内容について御質問があれば、ひとつお願いしたいと思いますけれども、皆さんいかがでしょうか。

では小澤さん、お願いします。

○小澤統括技術研究調査官 システム安全研究部門の小澤です。

この5ページの写真を拝見しますと、レーシングワイヤ破断面外観ということで、ディンプル模様が認められるということで説明されているんですが、これはレーシングワイヤが切れたところが2か所あるように理解しているんですけど、どこの破断面を観察されたかということをお説明いただけないでしょうか。

というのは、それとあわせて1点伺いたいんですが、すみません。ページが8ページ目に

なるんですが、8ページ目の左下のレーシングワイヤとタービンプレードを説明している図なんですが、これを見るとレーシングワイヤの止端部が離れているように見えるんですが、このようにレーシングワイヤの止端部というのは、離れて加工によって物理的にブレードと接触して動かないようになっていると、そういう理解でよろしいでしょうか。ですので、その止端部の状況と、あと切れているところ、どこを観察されたかということをお説明願います。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。東京電力、いかがでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力の竹本と申します。

まず一つ目の御質問からです。レーシングワイヤの破断面の外観ですけれども、これ1か所だけの破断面を見たわけではありません。今回破断したと思われるところのレーシングワイヤはすべからく見て、そこでの破断面の外観としてはディンプルの模様を確認しております。

ここでお示ししているのは、レーシングワイヤとして飛んでいってしまっていて、いろいろなところに接触したものと破断面が、まだうまく保存されていないので、タービン側のほうに残っているところが破断面で観察をしたものになります。

続いて二つ目の質問になります。8ページ目のタービンプレードとワイヤの関係ですけれども、ブレードは内側、外側、二重になっているワイヤがあるんですけれども、こちらは複数の本数のワイヤを使って、タービンプレードの振れどめという形をしておりますけれども、止端部の部分は離れているというか、切れているもの、折り曲げておりますけれども、ここで固定しているというわけではありません。ここはあくまでも止端部としての処理を曲げているだけなんですけど、ここで何かきっちりとめているという構造になっているわけではないです。

以上です。

○古金谷安全規制管理官 小澤さん、よろしいですか。どうぞ追加をお願いします。

○小澤統括技術研究調査官 システム安全の小澤です。

そうしますと、レーシングワイヤの止端部というのは、ワイヤ同士が溶接か何かでくっつけられているものなのか、あるいはそこを接合されていないものなのか、どちらでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力の竹本と申します。

通常の大型のタービンですと、物によってはタービンプレードとレーシングワイヤというものはろう付けの溶接をされているものがありますけれども、このブレードとワイヤに関しては何か固定しているものはなくて、普通に通して組み立てているような状況になります。

○小澤統括技術研究調査官 すみません。伺いたいのは、レーシングワイヤ同士は接合されているものなのか、どうなのかということ。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力の竹本と申します。

失礼しました。レーシングワイヤ同士は接続されておられません。

○小澤統括技術研究調査官 了解しました。

○古金谷安全規制管理官 今の竹本さんのお話をちょっと整理したいんですけども、二重のレーシングワイヤが通っていると。一重当たり複数のレーシングワイヤで固定されていて、それが2本なのか、3本なのか、4本なのかわかりませんが、そういう状況なわけですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力の竹本です。

そのとおりでございます。

○古金谷安全規制管理官 それは具体的に何本かというのは、それはお示しはできない。これは企業秘密か何かそういう。

○竹本東京電力原子炉グループGM そうなりますね。報告書のほうには記載しております。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。

それぞれのワイヤの端部のところはつながっているわけではなくて、それぞれが独立した形で、この図を見ると折り曲げているとか、そういうような形で固定されているという、そういう状況ということですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力の竹本です。

そのとおりでございます。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。

それとあと今の小澤さんの質問の最初のほうですけども、レーシングワイヤの破断面の外観というのは、一応見られるものは全部見たと。その後粉々になって飛んで行って、破壊されたもの以外は見たということですけども、具体的には幾つ見られたかというのは。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力の竹本です。

ちょっと確認させてください。幾つかに分かれているもので、飛んでいったものも全て見ております。ただ飛んでいったものは結構破断面というのがいろいろなところにぶつかっていますので、少しなめちゃったような状態になっておりますけれども、いずれも疲労の様相は呈していなかったの、今何か所確認したかを確認させてください。

以上です。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。少なくとも今の御説明では疲労の様相を呈するものは全くなかったということですね。小澤さん、よろしいですか。もし追加でよろしければ。どうぞ。

○小澤統括技術研究調査官 システム安全研究部門、小澤です。

次に、5ページの走査型電子顕微鏡（SEM）観察結果が示されておりまして、左側にタービンブレードの破面外観とストライエーション状模様のもものが示されているところです。報告書の92ページ、93ページ。

○古金谷安全規制管理官 映しますので、ちょっと待ってもらえますか。

○小澤統括技術研究調査官 はい。

○古金谷安全規制管理官 報告書映せます。

○小澤統括技術研究調査官 書いてあるページですね。添付資料-7の、そこです。

○古金谷安全規制管理官 PDFで言うと109ページですね。これでよろしいですか。

○小澤統括技術研究調査官 はい。パワーポイントの説明資料は、ここの92ページの上の段か下の段か、タービンプレードの破面を観察した結果を示されている。上のほうですね。一方で93ページ、次のページを見てみますと、まず確認したいのが、上のほうのロータファツリー部の亀裂箇所を確認した写真ですが、これ拡大写真を見ると、かなりもこもことした、もしかしたら腐食生成物のようなものが観察されている。下のほうの拡大写真と比較すると明らかなんですけど、下のようにシャープな破面が観察されていないというところなんです。

一方で我々よく経験するのは、腐食生成物等が付着しているときには、このようなもこもことした、何か析出したようなものが観察されているところがあるんですけど、そういうところを確認しますと、ここはSEM写真で白黒で示されているんですけど、マクロな写真でこれは着色していたかどうか。あとこのロータファツリー部に示されている破面に、腐食生成物のようなものが観察されていなかったかと、その2点を説明していただきたいと思います。

○古金谷安全規制管理官 いかがでしょうか、東京電力。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

まず92ページ目の写真です。上の二つの写真は今回タービンプレードが折損したR側の過給機のタービンプレードの破面になります。一方で下の二つの写真は、タービンプレードなんですけれども、亀裂が入っておりましたが、折損しないで残っていたL側のタービンプレードの破面になります。

次の93ページに行ってください、こちらが一番上の二つのL側の過給機になりますけど、こちら側はシャフト側、ロータ側、羽側ではないほうのファツリー部の、こちらも亀裂は入ってございましたけれども、完全に折損していない部分の破面の写真になります。最後下のやつはまた元に戻りますが、R側のカラーの写真になりますけれども、今回R側のほうというのは、ファツリー部でいいますと一番上の段のところになります。写真でいいますとプレゼンの資料でいいますと22ページです。22ページのほうに亀裂の箇所を書いたポンチ絵があります。

こちらのほう、まず最初に見ていった、比較的是っきりとストライエーションが出てるところというのは、R側のタービンプレードの1段目のところに亀裂が入って、赤いところなんです。こちら亀裂が入ってくると、どんどん進展がしていくときに状態があまり変わらないというのは、上に支えるものがないので、ただただ繰り返しの荷重にかけて亀裂が進展していく様子を示しましたけれども、一方でL側のほうなんですけれども、ファツ

り一部の状況によって、このブレードに関しては中間の部分に亀裂が入り始めたと考えています。

その亀裂が入り始めたことによって、周辺のファツリ一部の当たり具合とか荷重のかかり具合、遠心力のかかり具合が変わって、ロータ側のほうの左右側に亀裂がさらに発生してきたと推定しておりますけれども、その過程でかなり破面というものが打ちつけられてしまっていて、その結果としてストライエーションの模様が、かなりでこぼこした形になっているというふうに我々推定しております。一方で破面としては酸化生成物がついていたのかということ、こちらはかなり長い間をかけて亀裂が進展したと思われますので、破面としてはR側ほどではないのですけれども、酸化したような着色みたいのはあったということを確認しております。

○小澤統括技術研究調査官 システム安全、小澤です。

そうしますと、93ページの下の段でマクロ写真で、何か破面のところが赤茶けたように着色しているんですが、まずこれは何なのかというのを御説明いただきたいのと、あとほかの破面でも、同じような着色が観察されたのかどうなのか、そこも御説明をお願いします。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

この93ページの下着色のものは、ストライエーション以外にもビーチマークというものだと思っております。

ビーチマーク、ストライエーション、亀裂が進展していく過程で大きな環境の変化等があったと考えられるときに、酸化生成物がこの表面に付着していくことによってできる縞模様のようなものが、今回確認されております。R側のタービンブレードが一番きれいにビーチマークが出ておりますけれども、ほかの亀裂部位についてもビーチマークというものは見えておまして、ある一定時間を経過した中で、少しビーチマークとしての模様が出てきているのかなとは考えております。

以上です。

○小澤統括技術研究調査官 システム安全、小澤です。

そうしますと、全体として赤茶けているのは、全体として酸化しながら少しずつある程度の時間をかけながら、亀裂が進展していったと、そういう痕跡という理解でよろしいですか。あとほかの破面についても、こういう酸化皮膜のような赤茶けた着色は観察されたのでしょうか。

○古金谷安全規制管理官 すみません、小澤さん、多分L側の92ページ目の、ここも赤茶けているかどうかということですね

○小澤統括技術研究調査官 そうです。

○古金谷安全規制管理官 そうですよね。はい。いかがでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

後ほど写真等を提出したいと思っておりますけれども、L側のほうも赤茶けております。ただ

縞模様という形では一番R側のほうがくっきり見えているのが。先ほど申しましたようにL側のほう、非常に破面自体がたたかれている様子を示していますので、そういった意味では酸化皮膜みたいなものもついたり、はがれたりという状態があったのかなとは推測しております。

以上です。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。

○小澤統括技術研究調査官 了解しました。

○古金谷安全規制管理官 よろしいですか。ほかに、どなたかが御質問ありますでしょうか。

今議論としては、起因事象の5ページのところです。パワーポイントの5ページのところを中心に議論させていただいておりますけれども、この件について追加で何かございますでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力の竹本です。

先ほどいただいたワイヤの破面の数ですけれども、破断面としては10か所の破断面を観察しました。いずれも疲労の様子を示すものはなかったということになります。

以上です。

○古金谷安全規制管理官 10か所というのは、確認できる範囲でできるだけ多くという指示で確認されたのが10か所という、そういう理解でよろしいですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりでございます。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。ありがとうございます。

ほかにどなたか御質問ございますでしょうか。では菊池さん、お願いします。

○菊池技術参与 システム安全の菊池と申します。

今の報告書の92ページの写真で、一番上のほうのR側の写真では起点部という加工で、たしか前回も2か所ほど起点があって、そこから進行して進んでいったと御説明があったんですけれども、下側、L側のブレードの亀裂進展もやはり「起点」と書いていますけれども、1か所か2か所からそこを中心にして進展していったというふうに考えてよろしいのでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

今回観察されているビーチマークやストライエーション自体が、まず起点部から同心円みたいな形で伸びていっているところが幾つか確認されております。そこも踏まえて起点部というものをおよそ推定しているところがありますので、数が全て合っているかどうかというのは、なかなか難しいところがあるかもしれないですけども、この付近から起点で進展したと考えております。

以上です。

○菊池技術参与 わかりました。

システム安全部の菊池ですけれども、そうすると93ページのロータ側の亀裂は、これは下側の受圧面側から進展しているように見えるんですが、やはり同じように楕円形状である起点から進展しているというふうに見ていいのでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

ストライエーション自体はこの部分に関しては広く最後まで破断に至ってなくて、途中まで観察されたものを強制的に開口して見ておりますので、起点部がどこかというのがなかなか難しいところがあります。一応矢印で示した辺りのところからかなというところがありますけれども、ブレードに比べて明確に起点部というものが見つかっているわけではないということが事実です。

○菊池技術参与 システム安全部の菊池ですが、わかりました。

あまりはっきり見えなかったと、そういうふうと考えてよろしいですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

ブレード側のように、高サイクルの疲労の起点であるようなすべりみたいなところがうまく確認はできておりません。それであと介在物というところも、特にそこから起点になったようなところが確認できておりませんので、なかなかどこが明確にというのは確認できないところがありました。

以上です。

○菊池技術参与 システム安全部の菊池です。

了解しました。わかりました。どうもありがとうございます。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。

ほかにどなたかございますか。では川下さん。

○川下企画調査官 専門検査部門の川下と申します。

確認なんですけれど、もともとのブレードの破断の起点です。これは先ほど御説明があったとおり、レーシングワイヤの孔がずれていたことによる荷重の変動、これに起因しているということなんで、やはり今御説明いただいたストライエーションのあった部分、これはレーシングワイヤの孔のところからの進展というふうなことは確認されているのでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

まずR側のブレードになりますけれども、こちらのほうは折損してしまっただけで粉々になってしまったので、実際どれぐらいのタービン孔の高さがあったかという部分が確認できておりません。

一方で報告書の中にありますけれども、今回残っていたL側につきましては、折損はしていなかったもので、正確さというのはどれぐらいあるかわかりませんが、今回高さの特定をすると1.6mm程度大きくずれているということは確認できております。なので、今回損傷しているL側の部分のほうに関しては、孔の加工の位置がずれているということまでは確認できております。

以上です。

○川下企画調査官 専門検査部門、川下です。

そうすると、今私お伺いしたのは破断した起点です。疲労破壊しているということを確認するために、今ストライエーションを確認したということなんですけれども、ストライエーションの起点というのがどこなのかというところなんです。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

ストライエーションの起点と考えておりますのは、92ページの写真で示している2か所辺りのところに拡大していくと、疲労破壊の特徴でもあるすべりの部分が確認されておりますので、そこが起点部分。

○古金谷安全規制管理官 すみません。これ起点部の写真というのは報告書の中には入っているんですか。もしあるんだったらページ教えていただけますか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

ちょっと確認させてください。ページ数で114ページになりますが、PDFだと今画面に出しております。ここが先ほど矢印で指している起点部を、さらに拡大していったところになります。

その二つの部分についての拡大写真になりますけれども、一つ目が何かしらの小さい、この写真で見ると突起のような、何かしらの介在物があったようなところと、あと右側のほうが直系的には10 $\mu$ mぐらいですけど、すべりが発生したところを中心に、ストライエーションとかビーチマークが観察されておりますので、恐らくここら辺が起点だろうということを推定しております。

以上です。

○川下企画調査官 専門検査部門の川下です。

そうすると、今御説明いただいた114ページというのは、これはファツリ一部のSEM観察結果ですよ。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりであります。

○川下企画調査官 お伺いしたいのは、ではそうするとレーシングワイヤの孔の位置のずれが、なぜファツリ一部に波及したのかという原因、考察をお伺いしたいんですが。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

先ほどプレゼンの資料の中ですか、13/23ページになります。こちらのほうで今、タービンブレードとしては、ここで遠心力というものが当然1万4,000回転ぐらいで回っておりますので、常時かかっているのと、機関の爆発によつての排気ガスという圧力がかかっていることと、あとこのレーシングワイヤ自体が遠心力で外に広がってまいりますので、その遠心力で広がっているレーシングワイヤ自体からも力を受けるようなのがタービンブレードの力の受け方になります。

そこで、レーシングワイヤの孔の位置が変わると、この高さ、ここで言うところの孔の



上下方向の高さが変わるわけですが、それによってレーシングワイヤが隣り合うレーシングワイヤに差があると、レーシングワイヤから受ける力の傾きというところが、正しい遠心力方向から角度を向いて作用することになります。この作用した力の状況を踏まえて解析をしたところ、ここで応力振幅が高くなるというところがありまして、その応力振幅が高くなったことによって、疲労が発生したんだろうと考えています。それで、ファツリ一部自体にもともと初期欠陥があったというわけではなくて、ファツリ一部自体にかかる力のかかり方が、このレーシングワイヤの孔の高さの違いによって変わってしまって、それによって部分的に応力集中が発生する場所に疲労が発生するような、過大な応力振幅が働いてしまったということをご推定しております。

以上です。

○古金谷安全規制管理官 どうぞ。

○川下企画調査官 すみません、専門検査部門の川下です。

そうすると、荷重がかかったのはファツリ一部なんですけど、破断したのはブレードの上部のほうですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 破断しているのは、先ほどの22/23に行っていました。R側のブレードで行きますと、ファツリ一部のところになります。R側タービンブレード、L側タービンブレードともに亀裂が入っているというところ、破断したところはファツリ一部の部分が疲労で破壊したということになります。

○川下企画調査官 専門検査部門の川下です。

了解しました。

○古作課長補佐 検総課の古作ですけども、今の点でちょっと教えてほしいんですけど、全体の情報のつながりがよくわからなかったのも、その関連性を御説明いただければと思うんですけど、最初の御説明で出たパワポの資料で言うと、最初のレーシングワイヤの孔の位置が部分的にずれていたといったようなことで、8/23ページということで、1.6mmというずれがありましたということで、今回軸固着した側ではないほうのところでも亀裂が見つかったといったところでもずれが確認されていますということでしたけれども、この最大で1.6mmの数字と、あと角度がずれて背圧側に角度を持っていった場合といったようなことでの話で、10/23ページのところでは、角度が10° つけば疲労限として発生し得るというような分析がされているといったことなんですけど、実際に観測されたその数字と、当該部の角度といった関係では、どういう関係性が事実関係としては確認されているのかといったところの分析はどういう感じでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

幾何学的に整理をしたときに、1.5mmの高さの高低差というもの、は約5°～6°の間ぐらいになります。今回レーシングワイヤが残っているところも含めて現物でスケッチというか、取り外した後に、具体的にどのような角度になっているかというのを測定したところ、最大で10° 付近まで曲がっているところがあったというところまでは確認できており

ます。

一方で、幾何学的に10° くらいと思うと、3mmぐらいの孔の高さは必要となっています。ただしR側のほう、タービンブレードが完全に折損してしまったので、今となっては一体何mmずれていたのかというのはわかりませんが、いずれにしてもL側のほうで破損しているところは5° 以上の角度は確実に付いていたのかなということは確認いたしております。

以上です。

○古作課長補佐 検総課の古作です。

今の話の中で、部分的に10° 程度見受けられたというのは、孔の位置がずれていたということなのか、何らかブレードに荷重がかかったときに多少の変形が出てくるので、その関係で角度としての差がついたのかといったところの考えとしては、どういうところでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

今回損傷したところのワイヤを引き抜いてきていますので、必ずしも高低差だけでは整理ができないところがありまして、ただ物理的にどれぐらいの角度が取りついているんだろうかということを含めて観察しましたので、必ずしもその高低差がそのまま10° になったかということ、なかなかそれは言いづらいかんと思っております。

以上です。

○古作課長補佐 検総課の古作です。

わかりました。原因としてこの角度がつき、それによってブレード根元にかかる応力の分布が変わってきたという推定をされておりますので、その点の因果関係、全体として整理をされて、もう少し精度よくお話をさせていただければというふうに思います。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

了解いたしました。

○古金谷安全規制管理官 ではどうぞ、平田さん。

○平田上席監視指導官 実用炉監視の平田です。

2点確認をさせていただきたいと思います。1点目なんですが、まずこの過給機のタービンの羽というのは、もともとの設計上取り外すことを考慮していたものかどうかというのを教えてください。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力の竹本です。

今回のブレードは、取り外すことは想定しております。ただ、それを再利用するというところについては、もともとブレードが運転中に塑性変形をするということが確認できていなかったもので、そこまでの決まりをつくっておりませんでしたけれども、何かあれば、ブレードは取り外して、新しいものに交換するというところの設計だとは確認しております。

○平田上席監視指導官 実用炉監視の平田です。

そうしますと、ブレードは全体としてがさっと取り外すのではなくて、一つ一つでも取り外すことは考えたということですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

このブレードの組み立てについては、レーシングワイヤを入れながらブレードを組み立てる関係もありまして、取り外すときには基本的には全てのブレードを外すこととなります。なので、一旦ブレードに何か損傷があって抜くという場合は、一旦全てのブレードを抜いて、その状態から再度組み立てていく必要があります。

以上です。

○平田上席監視指導官 ということは、今回の当該のR側の過給機についても、1度取り外して再取り付けという御説明でしたけども、それは一旦全部外して、また取りつけたということなんですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりでございます。

○平田上席監視指導官 そのときにレーシングワイヤの孔加工をされているという説明というか、パワポの資料の中にあったと思うんですが、それを孔加工した理由は何なんでしょう。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力の竹本です。

弊社の柏崎刈羽発電所の2号機において、第1回の定期検査のときに確認されている事象なんですけれども、タービンブレードの先端に亀裂が入って損傷したという事例がありました。

そこでの原因というのが、当時その孔をあけていたのが電解加工という孔加工をしていたんですけれども、孔を加工した後の表面の処理がうまくいってなくて、その表面の処理のでこぼこを起因として、疲労亀裂が入っていたというところがありました。その事象の水平展開として各号機において、当時製造したであろうところのタービンブレードのレーシングワイヤの孔について、再度孔の表面の処理を滑らかにするための加工を追加しております。

なので、製造当時の孔の位置は変わっていないんですけど、孔の表面仕上げと、少し口径を大きくしてレーシングワイヤを太くはしていますけれども、そういう意味で孔の位置自体は、ずれないんですけれども、孔の表面の処理だけを加工しているということをしておりました。

○平田上席監視指導官 レーシングワイヤは、ではそのときに太くなっているんですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM はい。そのときにレーシングワイヤは少し太いものに変えていると聞いております。

○平田上席監視指導官 先ほど古作のほうからも質問がありましたけども、孔の加工精度というのは、そうするとそのときのものではなくて、やはりあくまで製造時のものということなんですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 孔の位置については製造時のものとなります。

○平田上席監視指導官 わかりました。

それともう1点、今回の説明ではまずレーシングワイヤの孔の精度不良による羽に加わる応力ということが、最初にあるという御説明だったと思うんですけど、例えばファツリ一部に介在物なり塑性変形していなくても、ワイヤの孔の加工精度が悪ければ、いずれ時間の問題であって、そのまま運転を続ければいつか破損に至るということは考えられますか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

今回我々の疲労を解析で評価しておりますけれども、今回我々が確認できた条件の中で解析をする中では、ワイヤの角度だけでは疲労には至らないと考えているのですけれども、もし万が一我々が確認された以上の加工精度のずれがあるとするのであれば、必ずしもそれだけで破損に至らないということが立証できませんので、今後そこら辺のところは確認をしていきたいと思っております。

○平田上席監視指導官 と申しますのは、ファツリ一部、塑性変形しているというお話、ありましたので、弾性域内であれば、今やられている解析で大丈夫ですという話に納得できるんですけども、塑性変形した状態でワイヤの加工精度が悪くて、振動なり応力が伝わってれば、いずれ時間の問題で壊れるのではないかなというふうに思ったんですが、その辺りはどうなんでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 今回、平均応力としては塑性領域を超えるところで設計されたブレードのファツリ一部ではあるんですけども、それほど大きな応力振幅が通常では働かないんですけども、それがワイヤの設定角度だったりすき間の変化によって変わってきてしまっているところがあります。

なので、そういった意味では応力振幅自体は大きなものではないので、今回確認されていない状況でも、いずれ時間がたてば疲労に至るとまでは考えていないところがあります。でも今回はレーシングワイヤの角度に加えて、通常の再利用という形は、変形してしまっていたら、しないのが本当は普通なんでしょうけども、それを再利用したというところが、少し問題なんだろうなというところで、我々考えておりますので、その意味で、レーシングワイヤの角度だけというところでは、なかなか起きないのかなとは思っております。

○平田上席監視指導官 それではすみません、もう1点だけ。

柏崎刈羽の2号機の水平展開で、この羽の取り外しで再加工したというのは、いつでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

確認をさせてください。いつというのはこの1号機の加工ということですか。

○平田上席監視指導官 そうです。平成何年何月ごろというのがわかれば教えてください。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

平成6年になります。

○平田上席監視指導官 平成6年に外して、再加工して取りつけたという、そういうことですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりでございます。

○平田上席監視指導官 了解しました。ありがとうございます。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。

ちょっと議論が次のほうに進んできましたので、少し議論を材料のところから要因調査のところに移って議論したいと思います。

お手元のプレゼンの資料でいいますと、資料の7ページ目から10ページにかけてのところについて、具体的には要因調査全体が6、7ページ目でございますし、設計値の逸脱、今平田のほうからもちょっと質問ありましたけれども、この辺、あるいはファツリ一部の部分、9ページ、それから疲労破壊の評価の結果等々につきまして、少し質疑応答できればと思いますけれども、いかがでしょうか。では高須さん、お願いします。

○高須統括監視指導官 専門検査の高須と申します。

先ほどからちょっと出ておりますけども、作用角、レーシングワイヤの局部応力で作用角 $5^{\circ}$ 、 $10^{\circ}$ とかおっしゃっているんですけど、R側とL側のものを見たときに、R側はおっしゃるとおり、もうなくなっちゃっているんで、角度がどれぐらいだった、高さがどれぐらい差があったかちょっとわかりませんという話なんですけども、逆に言えばL側の孔の高さをはかられていまして、それを見ると確かにひびが入っているブレードの孔の高さは高いんですが、両サイドのブレードの孔の高さは、ほぼ通常どおりの高さになっているところで、そうなったときに一般論というか、素人目には両サイドを拘束されて、逆にブレードが触れない方向に行っちゃっているのではないかなというところを感じてしまうんですけど、そうなったときにL側とR側の原因が全く同じものであるというような、そういった評価というのはされているんでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

今言っていた質問ですけれども、R側はちょっと観察できていないんですけど、L側の破損しているブレードが隣とは高さがついてしまっているんだけれども、隣り合ったブレードについた。

○高須統括監視指導官 ちょっと具体的に言います。

報告書の134ページに、レーシングワイヤの孔の高さの高低差の寸法が記載されています。

○竹本東京電力原子炉グループGM ちょっと待ってください。ページを今あけます。以上です。

○高須統括監視指導官 そこで高低差を見られているんですけど、いわゆるL側、1でも2でもいいんですけど、そうしたときに25を中心に両サイド同じような寸法になっています

よね。

ということは多分恐らく25は高く、24と26は低いと。そうすると山型になっていて、当然孔のワイヤの径がどれぐらい差があるかわかりませんが、一般論としては拘束される側になっているのかなと思うんです。そのときに排気側の角度がつく、つかないという議論が、こういう寸法関係から見ても、それが本当に言えるのかどうかというのが知りたいということです。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

角度がつく方向は、背面側に角度がつく場合と、受圧面側、排気が入ってくる側に傾く場合が両方あると思っております。今回どうかかり具合でワイヤがセッティングされていたかというのを直接的に観察できていませんので、そこでの力の方向というのは必ずしも背面側だったのか、受圧面側だったのかということろまでは、確証をもって言えないところはあるんですけども、何かしら高低差があれば、どちら側かに作用角が働くと。受圧面側に働くと、それほど応力振幅が大きくなれないということが解析上わかっておりまして、そうすると今回見られたのが背面側に亀裂が見られていますので、恐らくL側のブレードは背面側のほうに、もともとワイヤからの作用角があったんだろうなという推定をいたしております。

以上です。

○高須統括監視指導官 だからそれは発生した傷の方向から、そういう評価をしているということでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そうですね、発生した傷の方向から、そちら側にワイヤが作用角があったんだろうなということを推定しております。

以上です。

○高須統括監視指導官 ありがとうございます。

○古金谷安全規制管理官 すみません、ちょっと竹本さん、おさらいしたいんですけども、ここにこれ（タービンブレード等健全部の部品）あるんですけども、要するにこのワイヤが上下の差があって、何らかの形である、25なら25のブレードに応力がかかっている、それがこっちに行くか、こっちに行くかでこのファツリ一部にかかる応力が違っていると。今回の場合は背面の側から亀裂が入っていましたので、こちらに傾くような、そういう応力がかかっていたというふうに考えたほうがよろしいんですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

L側のブレードについては、背面側に曲げられるような感じですか。

○古金谷安全規制管理官 背面はこっちですよ。

○竹本東京電力原子炉グループGM はい。そちら側のほうに曲げる感じ。

○古金谷安全規制管理官 ああ、こちらのほう。

○竹本東京電力原子炉グループGM はい。そちら側にかかっていたと考えております。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。ありがとうございます。

ほかにどなたか。高須さん、よろしいですか。

○高須統括監視指導官 はい。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。

では、畠山さん。

○畠山係員 実用炉監視部門、畠山です。

今回御説明いただいた概要版のところには記載のないところがございますが、ほかの施設等で、NUCIA等でほかのトラブル等を調査されているということ、報告書の中で読ませていただいたのですが、こちらのトラブルについて、例えば原子力業界で使われるディーゼル発電機以外での調査といったものはされているのかどうか、いわゆる船舶であったり、そういったところ、他産業界のほうの調査、いかがでしょうか。教えていただければと思います。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

まずNUCIAでの調査は行っておりますけれども、今回製造しているメーカーについては、多く船舶のディーゼルエンジンであったりとか、常用・非常用を問わず、発電機のディーゼルエンジンを製造しています。特にBWRの事業者においては、ほぼかなりの割合のディーゼル機関は、今回の製造したメーカーで製造しております、その製造メーカーにも確認した結果、このようなことは過去には経験していない、というところを確認しております。

以上です。

○畠山係員 承知しました。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。では菊池さん、お願いします。

○菊池技術参与 システム安全部門の菊池と申します。

10ページ目に評価の修正グッドマン線図みたいな形のやつを示して、これでこの緑の線図を超えたところで壊れているというような御説明されておりますけれども、このときの縦軸の疲労強度だとか、横軸の疲労強度と書かれているのは、これは実際疲労試験をやられてとったデータなんですか。

もう一つは、今のような評価に関わると思うんですけども、あと実際壊れたタービンブレードのファツリー部のところですけども、実際何度ぐらいの温度になっていて、という。結局この評価線図をつくる時は、例えば常温で評価したのか、それとも使っている実際の使用温度で評価しているのかというところで、その2点についてお伺いしたいと思います。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力の竹本です。

ここの修正グッドマン線図を引くためのデータですけども、これはこの材料をつくっている材料メーカーが公開しているデータから持ってきたものになります。なので、我々が今回のために疲労試験をやったデータではなくて、材料試験メーカーの試験値だと考え

ております。

一方で、今回このブレードの部分の実際の使用温度ですけれども、熱流動解析上ですと、この排気自体は600°ぐらいに上がるんですけれども、当該のファツリ一部に対して熱流動解析を行うと、およそ300°～350°近辺になると考えておまして、その使用環境とあつこのメーカー側が出してきている材料試験データが、およそそれほど変わらない数値になるだろうということは確認した上で使用しております。

以上です。

○菊池技術参与 システム安全部の菊池ですけれども、そうするとこのデータは公開のデータで、大体350°～400°の、材料にとっては使用環境の温度ということと考えてよろしいということでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

この材料データ自体は、多分データは後ほどお示しできると思いますけれども、もう少し高い温度になりますけれども、ほかの材料メーカーのデータを見ると、350°であつて、もうちょっと高い温度であつても、この両振幅での振幅応力だつたり、引張強度だつたりするところが変わりませんので、そこは使用できると考えて、今回この線図を引いております。

以上です。

○菊池技術参与 システム安全部の菊池です。

わかりました。ただ、そういう根拠データはお示ししていただけるのでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

後ほど、御提示させていただきたいと思います。

以上です。

○菊池技術参与 了解いたしました。

○古金谷安全規制管理官 できれば、報告書の中に織り込んでもらったほうがいいですよ。大丈夫、可能ですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

少し確認させてください。少なくとも材料自体のデータは公開されているものなので、恐らく大丈夫だとは思いますが、ちょっとそれ以外のところは。すみません、使っている材料が何かということが言えないとなかなか難しい。だから資料としては提出できますので、マスキングの形になるかもしれませんが。

○古金谷安全規制管理官 それで結構でございます。

○竹本東京電力原子炉グループGM すみません。ありがとうございます。

○古金谷安全規制管理官 あと解析の条件だとか、そういう設定条件とか、そういうものですよ。

○竹本東京電力原子炉グループGM はい。

○古金谷安全規制管理官 すみません。お願いします。



○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

了解いたしました。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。

ほかに。では、小澤さん。

○小澤統括技術研究調査官 システム安全、小澤です。

同じく10ページの修正グッドマン線図について理解の確認をしたいんですが、これを見ますと、0.2%耐力よりもさらに上回っているところにプロットがなされているということで、これは何ら異常がなくても長時間使っていたら、少しずつ塑性変形していくと。要は変形していくのは必然だという理解でよろしいでしょうか。

それともう1点、ローターのほう。これ今ブレードのほうですけど、ロータのほうにつきましても、使用温度でこのような評価はされているのでしょうか。

以上2点です。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

およそこの10ページのグラフのプロットがある一番下にある青い四角のところですか、丸印ぐらいですか。通常状態の作用角がないところのCase-1というところが、通常使用での運転点になります。その状態でも0.2%耐力を超えておりますので、通常の使用においても、ある程度ところは塑性変形がしていてもおかしくないとは考えております。

一方でロータ側のファツリー部ですけれども、こちらのほう、報告書側のほうで少々お待ちください。143ページです。143ページで応力解析をした結果を載せておりますけれども、発生する応力に対して引張強さ、耐力ともに十分上回るものになっておりますので、ブレード側と違って、ファツリー部側というのは通常の使用時においては塑性変形をするようなものではないと、弾性域で使用していると考えております。

以上です。

○小澤統括技術研究調査官 了解しました。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。

今の話は143ページのところのファツリー部の応力でロータ側の話ということで、そこは基本的にはこの解析では塑性変形するような可能性はないだろうという結果が出ているという、そういうことですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりでございます。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。ありがとうございます。

すみません、菊池さん。

○菊池技術参与 すみません。システム安全の菊池ですけれども、この報告書を見ますとタービンブレードは多分500時間ぐらいですか。それで起動停止を数百回やられていると書いておりますけれども、そうすると実際ピークになるまで、低サイクルで500回ぐらいの繰り返しで使ってきたわけですね。そうするとそういうダメージというのは影響しない

というふうに考えてよろしいのでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM まず運転時間ですけれども、何ページだっけ。

○古金谷安全規制管理官 ごめんなさい菊池さん、運転時間はどこかページ書いていましたか。

○菊池技術参与 141ページです。

○古金谷安全規制管理官 141ページですね。表の16ですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 141ページになります。

今回の1号機、表16、17のところにありますけれども、非常用ディーゼル発電機の(B)というところが今回の過給機が損傷したところになりますけれども、運転時間としては562時間。表17のほうにありますけれども、起動回数としては437回です。

今御指摘いただいたとおり、起動停止の熱的なものを含めて、大きく状況が変化するということは我々も十分考えておりまして、その環境の変化の中で亀裂が進展していったというのは、破断面のビーチマークを見ても、およそ30回ぐらいのイベントぐらいはあったかなと考えておりますので、その亀裂が発生するまではどれぐらいのイベントかわかりませんが、亀裂が発生した以降は、およそ30回ぐらいの起動停止の中で、亀裂が進展したんだと考えております。

○菊池技術参与 システム安全の菊池です。

私が申し上げたのは進展のほうではなくて、発生のほうに対して影響がなかったかなという、そういうことを申し上げたんですけど。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

当然、今回の疲労破壊に至るまでの発生段階でも、それは関係ないとは言えないとは思っております。

当然、イベント時で疲労自体は進展しておりますので、発生のところに関しても起動停止回数というのが全く関係ないというわけではないと思っています。

○菊池技術参与 システム安全部の菊池です。

ということは、評価には乗ってこないけれども、何かの影響はあったら、そういうことで、評価上の話にはならないという、そういうこと。

○古作課長補佐 すみません、検総課の古作です。

少し今の観点で確認したかったんですけど、先ほどの修正グッドマン線図のところ、論点としてどの程度の発生応力で振幅が幾つでといったところを御提示いただいておりますけど、その状態がその振幅の前と後ろというのが、今の起動停止ということなのかどうかといったことと、その回数と疲労曲線等も考えると、サイクル数を考えて疲労に至るかどうかがといったようなことを検討されていると思うんですけど、その回数と今回の応力というのがどういう関係にあって、この履歴と合致するのかどうかといった検討はどうなっていますでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

今回の疲労影響、我々考えているのは今、現時点においては機関からの排気脈動が振動源になっていると考えています。ただし排気脈動については必ずしも規則的にブレードに働くものではなくて、機関から過給機までの距離によって、圧力が作用するものが変わってきます。

通常、定常のディーゼル発電機だと排気側を集合管理して、その圧力脈動の影響というのを極力抑えるような設計にしておりますけれども、非常用ディーゼル発電機については追従性というか、起動とか制御性をよくするために、ある意味少しばらばらに排気を過給機に送り込んでいます。

なので、特に圧力脈動の影響が大きくなるのが非常用ディーゼル発電機の特徴でありまして、どれぐらいの比率で今回の疲労に進展に起因したり、起動の発生に起因したところまでが、なかなか評価できていないところではあるんですけども、恐らく我々がこの疲労の限度線図を引いたのは、 $3.6 \times 10^7$ のサイクルぐらいのところを超えてくるところで評価をするというところで、まず決めて評価をしておりますので、恐らくそれぐらいの疲労サイクルぐらいはあったのではないだろうかとは考えております。

○古作課長補佐 検総課の古作です。

そうしますと、 $10^7$ の振幅があるといったところの想定ということで、今脈動を中心ということだと思っておりますので、応力の算出の仕方としても、その条件でそれぞれの応力を計算をしてみたいということによろしいですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりでございまして、排気脈動、爆発のときが一番強く、爆発していないときには低い状態。その差を取ったような状態で振幅が働くということを想定して評価しております。

○古作課長補佐 わかりました。

添付資料のほうではその解析条件というのをわかるように記載されておりますでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

少し確認させてください。わかりにくいところがありましたら追記させていただきたいと思っています。

以上です。

○古作課長補佐 よろしく申し上げます。

○村野東京電力原子力運営管理部部長 東京電力の村野ですが、ちょっと補足をさせていただいてよろしいでしょうか。

○古金谷安全規制管理官 どうぞ。

○村野東京電力原子力運営管理部部長 この解析の条件なんですけど、ちょっと誤解なきように説明しておきたいんですけども、これは入力として圧力脈動を与える原因となっているのは、タービンの排気圧です。これは通常はかりませんので、工場にあった段階でメ

一カーのほうが採取した値を入力として計算した結果、出てきた応力振幅が疲労限度を超えるというのがこの結果であります。

ですから御質問あった脈動については、ちょっと今竹本がすごく長く説明していましたが、ああいう考察をしているという状況でございます。解析のインプットはあくまで背圧を入れているということでございます。数字は恐らく多分ノウハウなので、言えないんだと思うんですけども、報告書には書いているのかな。

○古作課長補佐 すみません。条件がどうあるかを明確にしないと、実際との関係での分析ができないだろうということで、明確にしてほしいというのがまず基本的なコメントなんですけど、その点で今背圧と言われましたけど、振幅という意味でどういう状況とどういう状況の間での振幅なのかというのは、単に試験時のデータですというのではなくて、少し明確にいただければ、考察ができるのではないかなと思いますので、よろしくお願ひします。

○古金谷安全規制管理官 今、竹本さんがおっしゃった $10^7$ のサイクルというのは、どこか書いてあるんでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 確認しますけど、今、恐らく書いていないのかもしれないので、そこは記載等考えたいと思います。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。ありがとうございます。菊池さん、今の議論でよろしいですか。

ちょっと確認なんですけれども、私の頭の整理なんですけれども、要するに振動のサイクルとしては脈動だということなんですけれども、竹本さんさっき141ページの起動回数との関係でお話しされた、30回ぐらいで破壊に至るのではないかというのは、この30回のディーゼルの起動停止を繰り返すと、脈動としての回数は $10^7$ オーダーに至るだろうという、そういう理解でよろしいんですか。それとも全く別の議論ということでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 今回、30回というお話をしているのは、あくまでも破面を見まして、ビーチマークが観察できる限りのところを観察して、カウントすると恐らく起動停止みたいなイベントが30回ぐらいはあったらだろうというところから推定をします。なので、必ずしも繰り返し回数とそれが一致しているというふうにまでは評価はしていませんけれども、どちらかというとなら30回というのは破面調査から考察した内容になります。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。ありがとうございます。ほかにございますか。片岡さん、ではよろしいですか、お願ひします。

○片岡原子力規制専門職 ありがとうございます。規制企画課の片岡と申します。

私国際原子力機関（IAEA）のIRSという事故故障のデータベースの係をやっております。日本の事象も報告する仕事がありますので、その関係で参加させていただいています。

IRSでは根本原因を推定してレポートしないといけないので、その関係で質問させていただきます。原因の一つでレーシングワイヤの高さの設計値逸脱というのを挙げられてい

ますけれども、その大きさとして最大で残ったやつのはかったところで1.6mmがあったということですが、私の感覚ではこれ結構大きい違いかなと思ひまして、製造時の品質保証計画書（QAP）の観点から、これは受け入れられる条件内にあったものだったのか、それとも見逃しちゃったものだったのか。今記録はないかもしれませんが、わからないでしようか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力の竹本です。

まず製造時の記録という意味では、ございません。まず製造者としては最初に一つ目をつくる段階で確認をしていますけれども、その幾つもつくっていく過程においてずれるところまでは想定していなかったというところがあります。なので対策にもあるとおり、今後は全数の寸法検査をするんですけど、今の我々が考える品質保証の観点から言うと、全く受け入れられるものではないと考えております。

○片岡原子力規制専門職 規制企画課、片岡です。

ありがとうございます。よくわかりました。

それから二つ目の原因でファツリ一部の寸法の設計値逸脱ということで、これは先ほど御説明の中で1回ブレードを取り外してまた再取り付けするということをした際に発生した可能性があるようですが、再取り付けするというのは、もともと想定はしていなかったというお話なんですけど、ではその再取り付けするということに関するQAP的な制限はあったんでしようか、なかったんでしようか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

当時のことを知る製造者側の人間もかなり少ないところではありましたけれども、その当時のことをかなりヒアリングした範囲では、そのような再取り付けということに関しての何か基準とかルールがあったわけではございません。ただ、製造者としてはまさかそのファツリ一部が塑性変形をしているとまでは考えていなかったもので、その当時は再取り付けしても、恐らく大丈夫なんだろうなというところで組み立てたんだろうと推定しております。

以上です。

○片岡原子力規制専門職 規制企画課の片岡です。

ありがとうございます。私の感覚的な感想ですけれども、先ほど2号機の水平展開では孔の表面の粗さを直すというようなことを気にしていたのに、そちら側の部分はそんな気にしないというのは、ちょっと感覚的には矛盾するかなと思いますが、当時そういうことだったんだなと理解いたします。ありがとうございます。

○古金谷安全規制管理官 製造時は当然1号機の、本当に初期の導入のときに初めてディーゼル発電機が設置されたときの加工ということですから、先ほどの孔の修理、加工もちょっとしたというのが平成6年と言いましたけれども、それよりもっと前の話、製造時の孔のあけ方というのは、そういうことですよ。それはどれぐらい前の話になるんですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

少し確認させてください。整理はしておりますので、後ほど回答できればと。製造年月としては昭和58年になります。

○古金谷安全規制管理官 はい。了解しました。

昭和58年にこのディーゼル発電機の製造が行われて、孔の加工、修理をしたというのが、先ほど平成6年という話でしたけれども、それでよろしいですね。そういったタイミングの話というのは、報告書の中には書かれてはいるんですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

少し2号の水平展開のところのお話というか、加工のところはもしかすると記載が足りないところがあるかもしれませんので、そこはちょっと見直したいと思います。

○古金谷安全規制管理官 もし、そういった時系列、具体的な年月がわかるものがあれば、具体的に記していただけると助かります。ありがとうございます。

ほかに何かございますか。では古作さん。

○古作課長補佐 すみません。今の時系列の関係で1点確認なんですけど、今回の原因分析を進めていく中で、今回の御説明で孔の加工ということで1回取り外しの履歴があったということを御提示いただいたというところなんですけども、当初から原因調査の中にはこの履歴というのを調査して、何か原因になることがないかということを調査されていたと思うんですけども、このタイミングでそういう話が出てきたといったところの、社内の情報整理の状況とか、その点で何かわかりにくかったことがあったのかどうかというのを御説明いただけますか。なぜ最初からこの履歴がわからなかったのか。あるいは提示できなかったのかといったことなんですけど。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

2号機のほうの水平展開として、各号機に加工がされていたというのは比較的早くはわかりました。ただ、その詳しい履歴がどういうふうな、どのブレードを抜いたり、交換したのかとか、どういう加工をしたのかというところがなかなかわからないところがまずありました。

当然今の当社のシステムでいいますと、不適合の管理をするシステムのほうはかなり詳しく記録が残っていくことになるんですけども、先ほども申しましたように、これ建設時の後の初回点検で見つかった、2号機でいいますとブレードの折損なので、その後の水平展開も含めて少し履歴の記録の管理というところでは弱かったのかなというところはあると感じております。

以上です。

○村野東京電力原子力運営管理部部長 よろしいでしょうか。東京電力、村野です。

ちょっと補足をさせていただきますと、前回の公開会合、12月12日のときにも、疲労に関する調査ということで、ブレードのファツリー部だとか停止前の現品を計測するというのをやりますということでお話申し上げていて、この時点ではちょっと終わっていません。

て、さらに時間が必要ということで継続調査ということでさせていただいています。やはりそういうことも含めて原因と結びつけるところに時間がかかったのは確かでございますが、査察から抜けていたというわけではないと考えております。

以上です。

○古作課長補佐 検総課の古作です。

わかりました。抜けていたというところとちょっと語弊があったかもしれませんが、大きな履歴として、こういうことは項目としては早目に出しておいて、その上で分析した結果問題ありませんでしたなのか、原因と関係がありますということなのかというように言っていただけると、誤解なく見られたかなというふうに思いましたので、今後整理をするときに御配慮いただければと思います。

○村野東京電力原子力運営管理部部長 東京電力、村野です。

了解いたしました。ありがとうございます。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。では小澤さん。

○小澤統括技術研究調査官 システム安全、小澤です。

報告書の114ページと115ページについて質問させていただきます。添付資料-9(4)の1/2と2/2です。

介在物とか欠陥のサイズとあと疲労強度について、村上先生の教科書を引用されておられますが、この疲労強度を求めるビッカース硬さについては、今回改めてこの材料を評価したデータに基づいているのかと。あとそれは使用温度を考慮した試験結果なのかどうかというのを御説明いただきたいと思います。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

今回材料については、サンプルを取り出して硬さ測定も含めて改めて材料が変わっていないかどうか、材料の何かしらの異常がないかどうかというのを確認しております。使用温度との関係については少し確認をさせていただきます。今手元にないので、少しそこは確認したいと思います。

以上です。

○小澤統括技術研究調査官 システム安全、小澤です。

あと1点、この式は教科書等を見ればわかるんですが、鉄鋼材料のデータベースに基づいて策定された式でございます。今回のこの材料にそれが適用しているのか、どうなのかと。そういうところも確認したいところなんです、そこはいかがでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

御指摘いただいたとおり、今回の式というのが鉄鋼材料の式であることは我々も理解しております。

ただし、今回の材料とそのままのものというのがなかったことと、製造者側とも協議した結果、少しこれで評価しても定性的なことは言えるのではないかとこのところで評価しております。今回明確に数字、かなり確認されたよりも10倍、20倍というところの欠

陥がないと、疲労強度が落ちてくるレベルにないというところの、そういうことがないよねという確認をするために評価しましたので、直接的には確かにおっしゃるとおり、全く同じ式ではないとは思っておりますけれども、適用をして評価できるのではないかという考えで適用はしております。

以上です。

○小澤統括技術研究調査官 システム安全、小澤です。

承知しました。そうしましたら、その辺のデータ評価の解釈も含めて、お示しいただければと思います。

○古金谷安全規制管理官 ではここの解析のいろんな条件だとか、なぜこういう式を使ったかという、そういった考え方とか、それを受けてどういうふうに解釈をしているかというようなどころも含めて、評価結果の中に書き込んでいただけますでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM はい。整理したいと思います。

以上です。

○古金谷安全規制管理官 小澤さん、よろしいですか。ありがとうございます。

ほかにどなたか。どうぞ水野さん。お願いします。

○水野統括原子力運転検査官 柏崎刈羽原子力規制事務所の水野と申します。

先ほど、2点確認したいことがありますので、お願いします。まず施工についてなんです、タービンプレードの再取り付けに係る施工記録はないということでしたが、この疲労破壊の解析のもととなった修正グッドマン図の解析の条件だと、ワイヤ角が $10^\circ$ だと疲労限度を超えるといった結果、 $10^\circ$ は約3mmのずれに相当するものという御説明がありましたが、ワイヤ径が3mmでタービンプレードの間隔が30mmのところ、3mmの孔のずれというのは、どう考えてもそんな施工できないという状況だと現場では思うんですが、この $10^\circ$ といったところを出すために、強引に何か話をつくっているかどうかといったところが疑念にあるんですが、その $10^\circ$ の妥当性、施工上の可能性といったところはどのように考えればよろしいでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

今、水野所長がおっしゃっていただいたとおり、隣り合うところで3mmの高低差があると、施工するのはほぼ難しいと思っております。なので、現実的には $10^\circ$ というところはもう最大限考えて、幾何学的な組み立ての状況としてはマックスなのかなと。これよりも超えることはあり得ないのだろうということは考えております。

ただ $10^\circ$ というのは今回現場で取り外して観察したもののタービンプレードの中で、スケッチで写し取った中で、およそ $10^\circ$ の角度の部分があったので、その幾何学的に表現できない中でも $10^\circ$ という角度が成立するのであればという、ここで $10^\circ$ が設定しておりますけれども、これは何か特段意図を持ってやったというわけではなくて、我々として観察できたものをそのまま最大として利用させていただきました。

以上です。



○水野統括原子力運転検査官 わかりました。そうしますと、ちょっと水平展開のところにもなってしまうんですが、タービンの羽を再取り付けしたものについて確認するといったところがあるんですが、もともと孔のずれがあったといったところを考えると、再取り付けに限っているといったことの説明は、どのようになるのでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 今回、我々として評価をする上で、再取り付けをすることによっての当たり状態の変化がないと、なかなか局所的な応力集中があり得ないだろうなど。

要は取り付けた状態での運転状態であれば、当然運転中の熱膨張、熱収縮とか伸びはありますけれども、応力の集中度合いとしては変わらないのかなと思っていますので、その要因は大きくあると思っています。ただし、水野所長がおっしゃられたように、角度だけの問題で破壊に至らないのかどうかというところの確認が、かなりでき切っていないところもありますので、そこは当社としては今後取り外していないものについても、その高さの測定というのを行って、もしそれで何か新しい知見があれば対策のほうにフィードバックをしていくことを考えております。

以上です。

○水野統括原子力運転検査官 了解しました。

あともう1点なんですが、破面観察についてちょっと確認したいところがございます。

先ほど破壊に至るまで30回の起動停止があったというふうに推察なさりましたけど、30回といった回数を確認できたということについて、破面にどのような特徴があったんでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

資料でいいますと、報告書上の93ページの下段のほうに、R側の過給機のブレードのストライエーションがあると思うんですけども、ここで拡大しないとわからないんですけども、少し年輪のような縞、茶色の中でも縞模様が入っているんですけども、これを一つ一つ数えていく、その中に当然縞模様の間隔の間にストライエーションがいっぱいあるんですけども、大きなイベントの変わり目というところでの、大きな縞模様のピーチマークを数えていくと、およそ30回ぐらいのイベントがあっただろうなという評価をしているところなんです。

以上です。

○水野統括原子力運転検査官 ちょっと私の理解不足かもしれませんが、再度教えていただきたいんですが、ストライエーションの間隔は④のところだと $0.67\mu$ といったところで、それで破面の長さから大体割ると1万回といったところになると思うんですが、その回数を振動で割ったわけではなくて、30回ごとに大きなストライエーションの塊があったとか、幅が広いものとか間隔が狭いものとか、そういったものが確認されたといったことなんですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

このストライエーションの間隔としては1万サイクルぐらいで、およそ1万という数を正確に1個1個数えたわけではないんですけど、間隔で割っていて、およそこれぐらいだろうというところで評価しておりますけれども、一方でビーチマークという縞模様については、一つ一つ破面を細かく観察をしていった結果として、30回分の起動停止で熱が加わったのであろう模様ができていているというところをもって、およそ30回の中に、言ってみれば1万回ぐらいのサイクルで進展したんだらうなということを考えております。

○水野統括原子力運転検査官 わかりました。

そうすると、大体1回の起動停止で300ぐらいのストライエーションが発生するといった評価は何かできますでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

水野所長がおっしゃられているとおり、単純な計算で割り算をするとストライエーションの数としては300回となります。なので、恐らく一つの起動停止で300回分の疲労の進展はあったんだと思いますけども、それがイコール何かのサイクルにつながっているかというところまでは、まだ評価できていないところです。

○水野統括原子力運転検査官 了解しました。

あと最後なんですけど、この報告書の92ページの上と93ページの下が同じ破面で、上下逆さまになっているのでちょっとわかりにくいんですが、④のところだと進行方向に垂直にストライエーションが進展しているといった絵が見られるんですが、92ページの上だと、これは多分③に該当するような部分だと思うんですが、疲労の進行方向と水平にストライエーションが出ているような形にここでは見えるんですが、そこら辺のメカニズムの矛盾はないでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

ストライエーションの方向としては、あくまでも進行方向とクロスした形で出ていると考えておりますけれども、この起点部が複数ある中で、ストライエーション自体が途中で起点部が別のところから発生したものが進展していくにつなまって、どこかの時点でつながった点があると思っています。その点として水平部みたいなところに線が入っていると思われるのかもしれませんが、基本的にはストライエーションとしては進行方向に対して垂直方向であると考えています。

○古金谷安全規制管理官 ごめんなさい。今、水野さんが92ページの上の破面の図で言ったビーチマーク、模様というのは縦の白い線という、そういうイメージを持っているということですか。

○水野統括原子力運転検査官 そうです。そうではなくて、この細かいものがストライエーションなんですか。ちょっと倍率が全然わからないので。

○古金谷安全規制管理官 恐らく東京電力のほうは、この白い斜め線が左から順番に1、2、3、4、5、6個、7本ぐらいあるものをストライエーションと考えているのではなくて、それに垂直するような、この紙で言うと平行、水平になるようなところで細かな縞模様が見

えていると思うんですけども、それが東京電力で言うところのストライエーションと考えているという、そういうことですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりでございます。

○水野統括原子力運転検査官 わかりました。

92ページのほうが、拡大をしているんですかね。93ページのほうが拡大しているんですか。

○古金谷安全規制管理官 これは東京電力、今、水野が言った92ページの上の拡大写真と、それから93ページの下の方のストライエーションが $0.67\mu$ という解説が入っている写真の、これの拡大の大きさというのは、ほぼ同じというふうに考えていいんですか。これ下の縮尺がよく見えないのでお伺いしているんですけども。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

まず93ページのほうが鮮明ですけど、ここが一つのメモリというところの $10\mu$ になっています。一方で、こちら側、92ページ側のほうは、この大きなスケールの幅が $5\mu$ になっていますので、やや拡大の比率が大きい。

93ページのほうは、下のスケールみたいなのがありますけれども、すみません、間違えました。そのメモリがついているところの端から端までが $10\mu$ ということで、92ページ側のほうは白いゲージのところについている幅が $5\mu$ になりますので、大体倍ぐらいの倍率の違いがあるかもしれません。

○古金谷安全規制管理官 竹本さん、でも、これ $10\mu$ というのはこの長さですよ。ここからここぐらいの長さです。

○竹本東京電力原子炉グループGM そのとおりです。

○古金谷安全規制管理官  $5\mu$ については、この半分ぐらいの長さですけどね。これはかなり長い。ここはメモリがどこまで出しているかよくわからないので。

○水野統括原子力運転検査官 93ページのほうは、点々の間が $10\mu$ ということですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 点々の間が1です。

○水野統括原子力運転検査官 そうすると、倍率はあまり変わらないということですかね。大体倍ぐらいになっているということですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM そうですね、ちょっと写真の大きさも違うのであれですけども、スケールの長さだけでいけば倍ぐらいです。

○水野統括原子力運転検査官 そうすると、92ページのほうが倍になっているといったところは、ストライエーションの間隔は約倍になるということを考えると、この写真だけだと何か違うものを見ているような感じがするんですけど、そこはストライエーションの幅という計算では大丈夫ですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM ストライエーションの幅自身は、93ページのところでおよそ観察されたものの幅を表示しておりますけれども、大体6~8ぐらいの亀裂の長さ

を持っているのに対して、ストライエーションの間隔自身も0.6後半から0.8 $\mu$ mぐらいの間隔でありますので、場所によって少し間隔の違いはあると思いますけれども、何か別のものを見ているということではないと思っています。

○水野統括原子力運転検査官 わかりました。

92ページのこの白い線ではなくて、垂直ではなくて平行側に何か見えるものがストライエーションといったところなんですね。これ、よく見てとれませんけど。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

ちょっと破面が潰れちゃっているところもあるかもしれないですけど、要は平行で走っているところがストライエーションだと考えております。

以上です。

○水野統括原子力運転検査官 了解しました。

この写真を出した意図がちょっとわからないんですけど、了解です。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。

すみません。今、水野さんの話もありましたけれども、最後今議論が10ページまでのところを中心だったんですけれども、まずは原因とあと全体のメカニズム、この辺について御議論できればと思いますけれども、もうある程度議論しているところもあると思いますけれども、特に4-1のところ、12ページ目から16ページ目の推定メカニズムのところまで、4-1、4-2、4-3、4-4、ページで言うと12～16のところ御質問あるいはコメントありましたらお願いしたいと思いますけれども、いかがでしょうか。どうぞ。

○古作課長補佐 検総課の古作ですけれども、直接の側ではないのであれなんですけど、説明資料にもあったと思うんですけど、報告書のほうですと91ページとなっているところに、L側のほうでブレードではない側のところにも亀裂が見つかっているといったようなことで提示をされています。

先ほどの話ですと、そちら側は応力としては耐力よりも低いので大丈夫であろうというようなことの話もあったんですけど、一方で実際に亀裂が入っているといったところとの関係では、どういう整理をされていますでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

資料で言うところの22/23を見ていただければと思います。亀裂の関係の部分、L側のブレードのほうを見せておりますけれども、まず発生としては、我々としてはタービンブレードの2段目のところに亀裂が入ったと考えております。

通常の使用状態で申しますと、先ほど申しましたとおり、十分耐力だったりとか引張調査の範囲内で設計されたものですので、疲労は起き得ないと思っておりますけれども、従来であればこの三つのファツリー部で全ての遠心力を支えているものが、亀裂が入ったことにより、上の部分だけで遠心力を支えることになります。そうすると、ロータ側のファツリー部の平均応力がかなり上がります。その中で疲労破壊に至ったんだというメカニズムを考えております。

以上です。

○古作課長補佐 わかりました。

○古金谷安全規制管理官 ほかにございますか。どうぞ平田さん。

○平田上席監視指導官 実用炉監視の平田です。

今の御説明の中で、先ほど私が伺った内容とちょっと関連するんですが、タービンのブレードを外して再取りつけのときには、再加工によってレーシングワイヤを太くしたというお話があったと思うんですが、となると1万4,000回転ぐらいで回っているところで、外側のワイヤの重量が増えることになりますので、その辺りで例えば従来の太さのワイヤであれば、ロータ側のファツリ部というのは別に問題なかったんだけど、再加工によって遠心力がさらに大きくなって、実際には耐えたものがだめになってしまったというようなことは考えられないのでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

今回、応力解析をするに当たっては、当然変更後の寸法と重量で行っています。なので当然今調べていますけれども、レーシングワイヤの孔径を少し大きくしたとはいいますが、本当にわずかだと考えておりますので、大きく重量に効いてくるとは思っていませんけれども、少なくとも今回疲労評価をする段階においては、今のセッティングの状態での評価をしておりますので、その状態であっても通常の使用であれば疲労破壊には至らないということを評価しています。

○平田上席監視指導官 実用炉監視の平田です。

通常の使用状態では疲労破壊に至らないと、その通常の使用状態とおっしゃっているのは、どういう状態のことでしょう。

○竹本東京電力原子炉グループGM レーシングワイヤの孔高さが変わらない、ちゃんと加工されていて、ちゃんと片当たりがないというか、すき間がちゃんと取られている状態、通常のセッティング状態になっているものであればということです。

○平田上席監視指導官 そういう意味では、このシートの91ページにあるタービンロータ側のファツリ部で、磁粉探傷の結果で亀裂が見ついているというのは、これは結局レーシングワイヤの孔の加工精度が、まだ悪かったことを示しているという理解になってしまうのでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM このL側のほうも、あくまでも最初に亀裂が発生したのはタービンプレード側と考えておりますけれども、その副次的にブレードに亀裂が入ったことによって、ロータ側に対して過大な応力が働いてしまったということが亀裂の原因になっていると考えています。

○平田上席監視指導官 全て起点はタービンプレード側の亀裂による振れというんですか、それによる応力が最終的にはロータ側にもかかっているという、そういう理解ですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりでございます。

○平田上席監視指導官 了解しました。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。

ほかにどなたかございますか。どうぞ高須さん、お願いします。

○高須統括監視指導官 すみません。先ほどの5°、10°のところはちょっとなかなか自分なりに合点がいかないんであれなんですけど、取りかえをされたというところで、取りかえの記録は残っていらっしやらないというところなんですけど、煤だとか当たり具合とか当然取りかえれば変わるというようなこともおっしゃっていました。そんなところで、いわゆる抜いたところのブレードは、抜いたところの場所に戻しているのか、そこら辺との影響みたいなのも考察されているんでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

抜いた場所のブレードは抜いたところに戻すという管理までは、やっているところは確認しております。

○高須統括監視指導官 ありがとうございます。

○古金谷安全規制管理官 では小澤さん。

○小澤統括技術研究調査官 すみません。先ほどのL側の話なんですけどよろしいですか。

まず先ほどブレード側に亀裂が入って、その次ロータ側に亀裂がというお話でしたが、一方で報告書の93ページの拡大SEM写真を見ますと、先ほどの御説明にもあったように、腐食生成物というか、酸化皮膜のようなものが見えています。一方で92ページで示されていますタービンブレード側の拡大のSEM像だと、かなりはっきりと上にそういう腐食生成物等が乗ってなくて、フレッシュな破面のようにも見てとれるわけなんですけど、この二つの写真だけを見ると、先にロータ側が亀裂が発生して、その後タービンブレード側ではないかというようなものもあるんですけど、観察位置の問題もあるかもしれませんが、その辺どのようになるでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

まずブレード側のほうですけれども、かなり高温で使用されるというところで、ニッケル基合金というのを初回もしくは2回でお話をしたかもしれないですけれども、比較的耐食性も非常に強いものとなっております。一方でロータ側の材料ですけれども、クロム合金の耐熱鋼ではありますけれども、腐食性という意味ではかなりタービンブレードからは劣るものなので、一概に破面の腐食生成物の状況から、どちら側からということはなかなか言えないのかなと思っております。

以上です。

○小澤統括技術研究調査官 システム安全、小川です。

わかりました。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。ほかに何かございますか。では川下さん。

○川下企画調査官 専門検査部門、川下です。

今回ブレードが破損した事象の原因として、ファツリー部というか、レーシングワイヤの孔のお話をされていたんですけど、今回の破損の状況の後、確認された中で1点報告書の中ではロータ軸の偏心というのを挙げられているんですが、これは今回ブレードが破損した原因にはなり得ないというのは、どうしてそのように判断されたのでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

この過給機自体が1万4,000回転で回っています。今回最終的には偏心としては軸自体がボルトで締結されて2分割になっている軸になるんですけども、そこが完全に伸びちゃったような状態で、クの字型になっています。その状態がずっと続いて疲労が進むような状況ということは、とても考えられないとっていて、何かしら早期に異常が出てきてしまうと思って考えております。なので、今回のロータの偏心というのは、今回ロータが羽が飛んだ後に触れ回っていることによって、接触したことによって大きな偏心が出てしまったものと考えております。

以上です。

○川下企画調査官 専門検査、川下です。

そうであれば、報告書の中にそのような説明があってしかるべきだと思いますので、その辺り、要は納得のできる理由を記載していただけますでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

すみません。メカニズムのところ記載が足りないと思われるところもあるかもしれませんので、少し記載を充実させたいと思います。

以上です。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。ほかにどなたか。水野さん、どうぞ。

○水野統括原子力運転検査官 また1点だけよろしいですか。柏崎刈羽原子力規制事務所の水野です。

先ほどの質問の中でレーシングワイヤが10°曲がっているということ、なぜかということ、をずっと考えていて、私自身で確認したいことができたんですが、レーシングワイヤは、〇〇（非公開情報）であったものを通した後に両端を曲げるといった加工をしますよね。抜け防止のために。

そうした場合、曲げたときの応力が曲げ加工をした両端というか、レーシングワイヤの一番隅にあったブレードに、何か悪影響を与えたといったことは考えられるのかといったところを報道したときに、90ページのタービンブレード、全体を見た場合、ちょうどレーシングワイヤが曲げているといったところが見てとれます。ちょうど折れたタービンブレードのところも、レーシングワイヤを曲げたところに該当するのではないか、ちょっと考察ができるかを、L側の25番目もレーシングワイヤを曲げたところのブレードに該当するかどうかというところの観察をなさっていたら教えていただきたい。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。

ポイントとして水野の質問は、ワイヤの折り曲げて固定していたところ、端部のところ

の部分で、実際今回の折損あるいはひび割れがR機あるいはL機のほうで生じたかどうかというところで、タービンブレードの場所と今回折れた部分との関係というのは、何か考察されていますでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 我々もその点は十分最初から想定しておりまして、その中で今回の折損した、もしくはひびが入ったブレードは止端部ではございません。なので、その要因ではないと我々も考えております。

以上です。

○水野統括原子力運転検査官 ありがとうございます。

○古金谷安全規制管理官 ちょっと関連する話になるんですけども、10° ぐらいずれているものが、実際先ほどの竹本さんの説明だと、実際どこかのブレードでそういうものが観察されたという話があったと思うんですけども、それは今回この事故があった、故障した、この1号機の発電機に二つの過給機の中でという話ですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

今回取り外した、飛んでしまっていない、残っていたものの中でということです。

○古金谷安全規制管理官 ですから、R・Lはともかくとして、この二つの過給機のブレードのワイヤの状況を目視で確認したところ、10° ぐらいずれているような部分があったと。それは例えば写真でお見せいただくこととか、そういうことは可能なんですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

写真でお見せすることは可能です。

以上です。

○古金谷安全規制管理官 ですから、実際にこの折損があったところではないけれども、10° ぐらいの孔のずれで、ワイヤの角度がついている部分があったということですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりでございます。

○古作課長補佐 すみません、検総課の古作です。

大もと今の話の質問させていただいたところもあるので、念のため確認ですけども、資料の94ページで残っているワイヤと飛んでしまったところというのを色分けされていて、緑色で残っていた部分と言われているかと思うんですけど、この部分を見たということでよろしいでしょうかといったところと、そうだとしたときにも、上の写真ではブレードが大分変形していて、レーシングワイヤも変形をしているといったところはありますけど、さすがにここは外しての話ということでよろしいですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

当然残存しているのはこの緑と赤で色分けしたところが残っているところになります。また、特に損傷の激しい、二次的損傷になりますけれども、ブレードが曲がったり、レーシングワイヤが極端に曲がってしまったところは除いております。

以上です。



○古金谷安全規制管理官 すみません、それでもし今答えられればと思うんですけども、134ページのところに高低差の一覧表があると思うんですけども、10°程度の差が出ていたところというのは、具体的にここここですというようなことがおわかりになりますか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

具体的に出ていたというところはL側の折損したブレードの前後です。折損というか、ひびが入っていたブレード、L側過給機の25番の前後になります。

○古金谷安全規制管理官 要は24、25、26のこのところですか。25の前後ということですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりでございます。

○古金谷安全規制管理官 それは、これ内側と外側のワイヤがあると思いますけれども、どちらも同じ程度、10°ぐらいと。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

外側のほうが観察されたということです。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。ありがとうございます。ですからこの表で言うところの、高低差の激しいところが、基本的には角度も大きくなっているというふうに理解すればよろしいですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりでございます。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。ありがとうございます。

どうぞ、高須さん。

○高須統括監視指導官 専門検査の高須です。

そういうことであれば、56番とかそれなりに大きい数字が出ていますけども、ここも角度が何度あったかわかりませんが、ちなみにこのブレードは多分検査されているとは思いますが、ひびは出ていないという理解でよろしいでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

今回観察されて報告されている以外のものは全て検査をしましたけれども、ひびは確認されておりません。

○高須統括監視指導官 わかりました。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。ほかに何かございますか、よろしいですか。

メカニズムのところでも結構ですよ。今16ページ目までですけども、なければもう最後の対策のところも含めて、水平展開のところも含めて御議論したいと思いますけれども、いかがでしょうか。では畠山さん。

○畠山係員 実用炉監視部門の畠山です。

発電機の出力低下に関するメカニズムのところ、少しお伺いしたいのですが、今

回の事象としてはR側のほうについて最終的に未燃焼という事象になりまして、それによって抵抗が増加して、L側シリンダのほうも抵抗が増加して低下するといった事象で、最終的に出力が0MWというところに至っていると認識しておりまして、ただこの0MWに至ったというところの行き着く先が、結果的に0MWになったのが、何で0MWまで行ったのかなというのがまだ私のところでちゃんとつかみ切れていないところがございます、ここが0MWになったというところ、もう少し詳しく教えていただいでよろしいですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

報告書でいいますと180ページになりますけれども、まず今回の事象、発電機出力が0MWになった段階で、当社運転員が逆電圧がかかるのを防止するために、速やかに解列しておりますので、ものすごい短時間で起きています事象ではあります。

180ページを見ていただいて、この機関の特徴としては、過給機の給排気が18気筒ある機関の、9気筒ずつに独立してございます。今回であればR側の過給機が軸固着をして完全にとまってしまったわけですが、その一方でL側のほうというのとはとまっておりませんので、L側の機関自身は燃焼し続けていたんだと考えております。R側の過給機がとまったことによる影響なんですけれども、工場側の過去の実験のデータとして、このような機関においてR側、片側の過給機自身を完全に過給機の中を取り払ってしまって、いわば過給しないという条件で、過給機自体はツーツーですけれども、過給しない条件で試験をしたというデータが残っております。

そうすると全体としては30%ぐらいの出力しか出せないというところがわかっております。その中でR側の過給機が完全にとまってしまった上に、今回損傷箇所というのはブレードが1枚外れただけになります。と考えますと、内蔵物としてはかなりびちびちに入っている状態で、過給機自体に空気が通りづらい状況になっております。なので、さらに機関が一生懸命L側につられてR側の機関は回っている状態なんですけれども、圧縮もしている状態とか、機関のサイクルの運転の中で空気が完全に中に閉じ込められちゃった状態になって、それ自身がもうシュードの抵抗になってしまっている。なのでさらに出力が下がってしまうという状況を我々は想定しています。一時的にそこで出力が0MWまで急激に下降したと考えています。

仮にもし逆電圧が防止する操作でいきなり解列をしなくて、ガバナーを無理やり上げたときには、もしかしたらどこかの出力でバランスがとれたかもしれないですけれども、我々は設備安全の観点から速やかに解列操作をしましたので、そこがどこで最終的に機関としてつり合うのかまでは証明できませんけれども、そういう事象で一旦0MWぐらいまで行ったんだろうという想定をしております。

以上です。

○畠山係員 ありがとうございます。

先ほど御紹介のありました過去の実験データというのは、お示しすることは可能でしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM データ自身を報告書の中に入れ込むのはすごく難しいことだとは思っておりますけれども、何かしらの形でお示しすることはできると思います。

以上です。

○畠山係員 お手数ですが、よろしくお願いいたします。

また、先ほど御紹介のありました空気のほうです。遮断して結果的に0MWになったという想定の方も、あわせて報告書の中に盛り込んでいただけるとありがたいです。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

181ページのところに送気が遮断されているというところは書いておりますけれども、そこは相談させていただいていきたいと思っております。

以上です。

○畠山係員 よろしくお願ひします。

○古金谷安全規制管理官 すみません。今との関連で技術的な想定される事態を御議論したいんですけれども、これR側が今回動かなくなったという場合に、今無理やり調整すればという話もありましたけれども、例えばL側だけで運転をするということは可能だったんでしょうか、いかがですか。

要は機器安全のためにとめるというのは、今当然やることだと思うんですけれども、逆に本当の緊急事態の場合にとめるよりも少しでも電力を確保したほうがいいと。SB0（全交流電源喪失）の事態だとか、そういったときに片排運転をするということが想定として、あるいはそれによって十分な電力が確保できるか。私の直感的なところからすると、極めて難しいのかなという気はするんですけれども、東京電力の中で、もし何かそういった議論をされていたのであれば、ちょっと御紹介いただければと思うんですが。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

この機関として、何かしらの非常用電源として役立つような電力を出力できるとは考えておりませんので、やはりここは停止するのが正しかったのかなと思っております。

以上です。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。ありがとうございます。

そうすると、やはりこれはD/G本体の機能が完全にはなくなっている。安全機能として期待できるものではなかった、今回の事象はそういうものであったと、そういうふうに考えるのが妥当だということですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりだと思っております。

以上です。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。ありがとうございます。

ほかにメカニズム、あるいは再発防止、水平展開も含めて御議論させていただければと思いますけれども、いかがでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

すみません。私が少し勘違いしていたところがあったので、訂正させていただければと思うんですけども、2号機の水平展開において孔の加工をやり直したという経緯をお話しするときに、ワイヤの太さを変更したということをおっしゃっていましたが、正しくはワイヤの太さは変更をしていなかったということです。孔径だけが少し大きくはしておりますけれども、それは十分設計上配慮された値の中で孔径のみを大きくしているということになります。修正してお詫びします。失礼しました。

○古金谷安全規制管理官 訂正ありがとうございました。

ほかにどなたかございますか。村野さん。

○村野東京電力原子力運営管理部部長 東京電力、村野です。

今ワイヤの太さの訂正ございました。申し訳ありませんでした。

先ほどいただいた取り付け、取り外しの経緯をしっかりと報告書に書き込むようにというところ是对応させていただきます。お答えしておきます。

以上です。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。特に質問がなければ、これで。

では古作さん、お願いします。

○古作課長補佐 検総課の古作です。

途中の議論のところでもあったので、念のためというところではあるんですけど、水平展開なり対策のところ、ブレードの取り外し、再取り付けがあったものに対してということでしたけれども、塑性変形が何らかあり得るブレードであった場合には、取り外しなりがなくても、何らかの影響があり得るという想定もあるかと思しますので、その点の原因の分析も踏まえながら、この辺りの対策の範囲の妥当性といったところも、少し整理をしていただきたいと思いますので、よろしくをお願いします。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

了解いたしました。

○古金谷安全規制管理官 それでちょっと水平展開の規模感を教えてほしいんですけども、要するにこういう2号機の対策を反映するというので、孔の加工をし直したというのがありますけれども、そもそも今の調査として原因として考えているのがワイヤの孔加工のときの精度不良というところが大きな主たる原因ではないかというふうに推測されているということからすると、同じような孔の加工の精度不良みたいなものが、実際ほかのディーゼル発電機にも東京電力の中で、可能性としてあるものというのはどれぐらいのものが、今考えられているんでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

孔加工の精度不良ということに関しては、製造メーカーが製品として全数検査をし始めたのはかなり至近になりますので、そういった意味では予断をもたず、ある程度広い範囲ということなんです。

対象としては、全てにおいて加工精度が悪かったということが証明できないといけませんので、そこは見ていきたいと思っています。ただ1号機と同じような、全く同じ加工の仕方をしているのは、柏崎刈羽2号以降だと少し加工機を変えていますので、その意味で恐らくもしかしたらないのではないかとはお見しておるんですけども、そこを含めて加工機側の履歴が必ずしもはっきりしたところではないので、そこを見ていかなければいけないかなとは思っております。

水平展開の対策の規模感としては、タービンブレード取り付け、取り外しを行っているものに対してやっていくという意味では、当社で言えば柏崎刈羽で言えば1号機と2号機と3号機のD/Gが、およそ13機のD/Gが対象になります。ただし柏崎刈羽としては先ほど申しましたとおり、他のD/Gについても順次になりますけれども、高さのほうの精度というのがどういうふうになっているかというのを確認していきたいと思っております。

以上です。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。

ちょっと整理しますと、このタービンブレードの取り付け、再取り付けを行った実績のあるものとしては、柏崎刈羽の1号機から3号機の中の、ディーゼル発電機が13台あります。4号機以降のものについても孔の高さの測定とか、その辺が品質管理上問題ないかどうかということについては、これから順次確認作業をしていくという、そういうことですね。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりでございます。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。

あとすみません、一つ教えてほしいんですけど、タービンブレードのファツリ部の亀裂の有無の確認をすると書いてあるんですけども、これはファツリ部は取り外してみないと見えないかもしれないと思うんですけども、これは何か取り外さずにやる確認方法、考えられているということでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

まずは直接的には今回もやりましたとおり、取り外しての浸透探傷検査というのが当然やれたのでやっているんですけども、それ以外にも通常の蒸気タービンで使っているようなフェーズドアレイUTみたいなものが、今回のひびの確認に使えないかどうかというのを確認しております。またそのほかの方法も含めて、取り外しをやる方法、もしくは取り外さないでも確認できる方法があれば、そういうものも含めて検討していきたいと思っております。

以上です。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。ちょっと具体的な確認の方法というのは、これから幾つか可能性を検討されるということですけども、仮に取り外して確認をしたら、取ったブレードはもう取り付けずに新しいものに交換するという、そういう理解でよろし

いんですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

そのとおりでございます。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。ありがとうございます。ほかに何かございますか。よろしいですか。

ではすみません。中身についての議論は今日はこれで終わりにしたいと思いますけれども、今後の進め方といたしまして、こういう形でどうかという御提案です。

まず今日御指摘させていただいた幾つかの部分です。具体的な情報のもう少し盛り込んでほしい解析の結果であれば、もう少しその前提条件だとか、そういった詳しいところだとか、それを解釈どういうふうを考えているかというようなところの御説明を盛り込んでいただきたいのと、あと幾つかデータの、写真でも、もしもう少し出していただける、カラーと白黒でわかりにくいものとかも破断面のところ、あったと思うんですけども、もし同じようなカラーで比較できるようなものをお持ちであれば、できるだけ同じような写真を、もう少し盛り込んでいただいて、破断面の観察の様子ができるようにしていただいて、小澤さん、例えばワイヤの切断面ももう少し幾つか見たいですか、いかがですか。10個ぐらいあると言っていましたけれども。

○小澤統括技術研究調査官 もう少し、1か所だけ見せていただいているので、もう少しあったらいいなど。

○古金谷安全規制管理官 そうですね。なかなか10か所全部ということではないかもしれませんが、幾つか同じような破面ですよということがわかるように、こういったところが共通的に観察できているというところをお示しいただければなと思いますので、よろしく願いいたします。

そういった今日の御指摘を受けたものを補正するような形で報告書を御提出いただいて、そんなに追加的な何か作業をお願いするというよりは、むしろもうちょっと情報を盛り込んでいただくというようなものかなというふうに我々、既存のもうお持ちのものをさらに盛り込んでいただくということだと思いますので、そんなに時間はかからないのかなというふうに思うんですけども、いかがですか村野さん。

○村野東京電力原子力運営管理部部長 東京電力、村野です。

今あるものを追加するのはすぐできるかと思うんです。途中メカニズムをしっかりと整理をしてほしいというようなところがコメントで幾つかあったと思います。そこは少し文章とか練る時間が必要だと思いますので、一定の時間はいただきたいなというふうに考えております。

○古金谷安全規制管理官 では、どれぐらいで補正できるかというのは、ちょっとまた社のほうで一度御検討いただいて、大体のタイミングの目途が見えたら、また面談で教えていただいて、その後の進め方についてまた我々の中でも検討したいと思いますけれども、いかがでしょうか。

○村野東京電力原子力運営管理部部長 東京電力、村野です。

いつごろお出しできるかということは、こちらから事務局へ連絡させていただきます。

それから追加する項目に過不足がないかということも、その段階で1回すり合わせさせていただいて、過不足ないということであれば、すぐに答えをつくって持っていき、お出しするという進めさせていただければと考えております。

○古金谷安全規制管理官 わかりました。ではちょっとそういった面談をさせていただくということで、了解しました。ありがとうございます。

では以上になりますけれども、特に何か最後連絡あるいはコメント、あるいはちょっと内容を間違っていたら訂正したいところございますか。特によろしいですか。

○水野統括原子力運転検査官 ちょっと1点よろしいですか。

○古金谷安全規制管理官 どうぞ水野さん。

○水野統括原子力運転検査官 柏崎刈羽原子力規制事務所の水野です。

時間もないので簡単になんですが、報告書の122ページにタービンプレードとあとレーシングワイヤの加工方法の変遷が載っているといたところですが、先ほどの説明だと、柏崎刈羽の2号も水平展開といたところで見ると、一番右に各サイトの状況が載っているんですが、柏崎刈羽の1号のA、Bは、1982年にこの表の加工でやられたという判断でいいと思うんですが、そうするとレーシングワイヤは、先ほど電解加工にそれだけだとちょっと端部に応力集中する形があるので、そこをリーマで孔を滑らかにしたといたところなんですが、ここの表を見てもう既にドリル+リーマということで書いてあるんですが、その先ほど説明された情報は正しいのかといたところと、そうすると孔加工を滑らかにしたということであれば、柏崎刈羽1号のほかに福島第二（2F）の3号、4号でも同じような年代で加工されているんですが、そちらのほうも再取り付けをしているといた理解でよろしいでしょうか。タービンプレードを再取り付けしているという理解でよろしいですか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

御覧いただいている122ページの表6の1981年のところがK-1のHで、82年のところにK-1のA、B、その同じ欄に2F-3、4、5号機のD/Gがあります。その後の1983年にK-2からの電解ボール盤が入っております。

先ほど水野所長から話がありましたとおり、2Fの3号機、4号機についても今回の対象号機と同様に取り外し、取り付けを行って、孔の修正加工を行ったものであるということを確認いたしております。

以上です。

○水野統括原子力運転検査官 もう一つレーシングワイヤの孔加工に、最初からドリル&リーマが入っているんですが、ここの記載は正しいのでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 東京電力、竹本です。

ドリルのみならずリーマでの仕上げ加工は行っておりますので、そこは間違いはないと思

っています。仕上げ加工は当然やっているんですけども、そののしっかりとした表面の仕上げができていないかどうかというところが、2号機の発生の原因でありましたので、そういう意味では、孔をあけた後の表面の処理というのはいずれも行っております。

以上です。

○水野統括原子力運転検査官 了解しました。

ドリル&リーマの加工精度が十分ではなかったといったところで、再加工をしたという説明でいいでしょうか。

○竹本東京電力原子炉グループGM 2号機の原因としては、電界ボール盤で孔をあけたものの、リーマの加工精度が悪かったという結論になります。そういう考えからいくと、当然1号機とか2Fのものというものは、ボール盤であけているから違うのではないかといいところがあるという御質問なのかもしれないんですけども、その当時の水平展開範囲としましては、電界ボール盤に限らず、表面の仕上げが完全ではないと思われたものの、対象まで広げて対策をしたということを考えております。

以上です。

○水野統括原子力運転検査官 了解しました。

○古金谷安全規制管理官 よろしいですか、水野さん。

○水野統括原子力運転検査官 はい。

○古金谷安全規制管理官 ありがとうございます。

ほかに何か最後、よろしいですか。

(なし)

○古金谷安全規制管理官 それでは、本日のところはこれで終了したいと思います。今日はどうもありがとうございました。