

エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ（第31回）－議事内容

（令和4年11月30日（水）13:00～15:00 Microsoft Teams 開催）

○事務局（日野） 定刻となりましたので、第31回新エネルギー発電設備事故対応・構造強度WGを始めます。

私は、事務局の電力安全課で課長補佐をしております日野です。

本日は前回に引き続き、諸般の事情によりリモートでの開催となりました。委員の皆様におかれましては御多忙の中、御出席をいただき、ありがとうございます。御不便をおかけいたしますが、どうかよろしく申し上げます。

本日は、委員の先生方10名中8名で、あともう1名、御参加いただける予定になっております。WGの定足数を満たしております。

また、本日はオブザーバーとして住宅生産団体連合会の木村先進技術部長様、それから日本小形風力発電協会の久保理事長様、日本風力発電協会の柴田技術部長様、太陽光発電協会の山谷事務局様に御出席いただいております。

次に、資料の確認をいたします。本日の資料ですが、議事次第、委員名簿、資料1-1、1-2、資料2、資料3の計6つを用意しております。資料につきましてはリモート会議の画面上に投影いたしますので、よろしく申し上げます。審議の途中で資料が見られない場合や通信の不具合が生じた場合は、お手数ですが、チャット欄もしくは事前にお知らせしている電話番号にお知らせいただければ幸いです。

それでは、以降の進行を河井座長にお願いいたします。よろしく申し上げます。

○河井座長 それでは、議事に入ります。本日の議題は、議題1「的山大島風力発電所のブレード折損事故に関する報告について」及び議題2「GHRE製小形風力発電設備倒壊事故に関する報告について」審議を行っていただきます。

説明をしていただく事業者におかれましては、時間が限られておりますので簡潔にお願いいたします。

それでは、議題1に入ります。「的山大島風力発電所ブレード折損事故に関する報告について」、資料1-1を用いて株式会社の山大島風力発電所よりスライド投影の準備ができ次第、説明をお願いいたします。

○説明者（矢野） 的山大島風力発電所でございます。本日、私どもの出席者ですが、

私、矢野、それから説明者の金江、それから岡田の3名でございます。

本日は委員の皆様方、貴重なお時間をいただきまして、誠にありがとうございます。また御心配をおかけしておりますこと、改めておわび申し上げます。

事故の発生が2020年9月でございますので2年と3か月が経過しておるわけですが、前回まで4回にわたって御報告並びに審議をさせていただきまして、事故の原因と、それから再発防止策につきましては、おおむね全て御理解いただけているものと認識しております。本日は第5報ということで、前回いただきました主に地域住民に対する安心の供与の部分についての御質問への御回答と、それから資料修正も御指摘いただきましたので、こちらの御説明を差し上げたく、よろしく願いいたします。

それでは、説明を始めさせていただきます。

○説明者（金江）　それでは、的山大島風力発電所、台風9号、10号によるブレード折損事故に関する報告、第5報としまして、資料1-1に基づいて御説明させていただきます。

まず目次ですが、本日の報告内容となります。最初に風力発電所の概要と事故の概要の御説明を行った後に、3番目として事故の原因概要と対策について御説明し、次に4番目ですが、前回の質問事項への回答を行います。最後になりますが、5番目として前回報告書について御指摘をいただいておりますので、その修正内容となっております。

まず1番目でございます。風力発電所の概要についてです。地図にもございますが、所在地は長崎県平戸市にあります離島でございます。定格出力2,000kWの風車が16基、風車メーカーはVestas社のV80、IECクラスIAの機種でございます。

続いて、2番目の事故の概要です。事故に関しては2020年9月2日夕方から9月3日早朝にかけて、台風9号が的山大島の西側を通過いたしました。このとき、発電所の風車全16基のうち8号風車、13号、16号の3基のブレードが破損しております。

続いて台風10号のときですが、台風9号通過から中2日、2020年9月6日夕方から9月7日早朝にかけて、台風10号が同じようなルートを通っての的山大島の西側を通過いたしました。このとき、7号風車のブレードが破損しております。

台風9号通過時に発生した故障により、事故機であるこの4基についてはヨーイングに異常が生じており、風向の変化に追従できない状態となっております。

以上が事故の概要でございます。

続きまして3番目、事故の原因概要と対策についてでございます。事故の原因について

は事故機により異なりますが、ブレードの破損について共通しているのは、ヨーイング機能に異常が生じたことが主原因であると我々は考えております。台風の強風下でもヨーイング機能を維持することが事故の再発を防ぐこととなるため、次にお示しする対策を全号機に対し実施いたします。

まず機械的な不備としましては、原因の①番、計測範囲を超えた風速による風速計エラーの発生が8号機、13号機の根本的な原因でございました。この対策として、耐風性の高い風向風速計への変更を実施いたします。具体的には、現状の計測範囲50mまでの風速計を75mまで計測可能な機種に変更いたします。

次に運用上の不備でございますが、原因の②番、交換用予備部品の在庫切れ及び点検時の対応不備が16号機でございました。この16号機については点検時の対応の不備がございましたので、これに対する対策として交換用予備部品の適正在庫の確保を実施いたします。具体的には在庫の部品切れを回避するため、風車全機分の50%相当のクラッチ板を島内倉庫に確保し、使用後は速やかに在庫の補充を行う。こういった対策を取ります。

続いて原因の3番目、ギアボックス故障時の事業者判断によるローターロック・ブレーキ使用での制御線の破損。こちらは7号機の原因でございました。対策といたしまして、ギアボックス故障時についてはメーカー技術員による現地確認を行い、適切な対応を取る。こういったことを対策といたします。ローターロックを使用する必要がある重度の故障の場合については、風車メーカーに相談した上で、追加のオプション等の使用によるギアボックスの保護を実施いたします。

続いて、4番目でございます。前回御報告時の質問事項への回答でございます。前回の御報告までにいただいた御質問や御指摘については、次の3件を除き全て解決済みとなっております。その前提で次の3件について御説明させていただきます。

まず1番目、風車が倒壊した場合、この倒壊範囲に住宅やホテルなど人が住んでいる建物はあるかといった御質問でございました。

回答につきましては、風車の倒壊範囲に人が居住する住宅、ホテルなどはございません。仮に風車が根元から倒れた場合でもブレードの先端が到達する範囲に民家等がないため、風力発電設備支持物については、国際規格や土木学会の指針が示す50年に一度発生する荷重レベルに対して設計されております。

2つ目の御質問です。この風車は供用期間である20年を経過した場合はどうする予定かとの御質問をいただいております。

前回の御報告の後に社内での検討を重ねまして、20年経過を待たずに風車全機のリプレースを実施することを検討しております。このサイトでのリプレースについては、ナセルやブレード、タワー、基礎部分を含む風車全体をリプレース時点での法規や規格に沿った機種へ建て替えをすることを意味しております。

続きまして3番目、想定外の事象が発生した場合の対応はどのように考えているか。これは安心の部分について、事業者としての考えを示してくださいとの内容でございました。

この回答といたしましては、上記のリプレースの対応を決定するまでの期間については、さきに挙げた再発防止対策を取った上で、次にお示しする対応を取ることを考えております。停電発生時等に備えた対応を実施することといたします。

まず停電発生時の対応についてでございますが、台風プラス停電等に伴うヨーイング異常時など、風車の耐荷重レベルを超える可能性のある事象として、次の2つの条件のどちらも該当する場合に対応を実施いたします。

1つ目の条件としては台風の予報円の中に当該発電所が入ると予想される場合、2つ目は最接近時の台風の強さが非常に強い以上と予想される場合。この2つの条件と、どちらも該当する場合となります。この条件に該当する台風の接近が予想される場合は、3日前から次にお示しする対応を取り公衆災害防止に努めます。

まず①番、平戸市の協力の下、地域全域への行政防災無線放送及び島内ケーブルテレビの平戸市専用チャンネルで注意喚起放送を流します。続いて②番、既に実施済みの風車ヤード入り口の立入禁止措置のほか、追加措置として注意喚起看板を掲示し、風車管理道路に範囲を拡大して通行止めを実施いたします。

続きまして、8ページ目でございます。島内防災無線アナウンスで注意喚起を実施する際のイメージとなります。この防災無線放送でのアナウンスを実施するタイミングについては、3日前から前日までは午前1回、午後1回、当日はそれぞれ2回ずつとしております。またケーブルテレビでの住民への周知については、そこにテレビの画面がございますが、専用チャンネルでの行政情報提供サービスによる注意喚起放送を行うことで住民への周知を図ります。

試験的にはございますが、本年9月の台風11号、14号の際に防災無線放送でのアナウンス及びケーブルテレビでの周知といったものを実施しております。台風通過中の巡視のときに、風車設備付近に車での通行を含め住民の姿をお見かけすることはございませんでした。また、さきに再発防止対策として挙げております75mまでの計測が可能な風速計に

ついてですが、今年8月に事故機を含む16基、全機で交換を実施しております。交換前は測定ができていなかった52mを超える風速を計測することが可能となっており、今回の台風11号、14号で最大風速60.1mを計測しており、風速計のエラーも発生せず、ヨーイング機能も風向に対して正常に動作することを確認しております。

以上、補足として御報告させていただきます。

続いて、9ページ目でございます。立入制限措置についてでございますが、現状は風車ヤード入り口のみ立入禁止措置をしているだけでございますが、こちらを風車管理道路に範囲を拡大し、立入り、通行ができない状態といたします。また注意喚起看板については、風車管理道路の封鎖とともに入り口付近の全てに設置いたします。

以下、10ページ目以降は前回の報告資料の修正でございます。内容を分かりやすくするためという意味合いで御指摘をいただいておりますので、修正前と修正後で御説明させていただきます。

まず1つ目の修正でございますが、変更前、吹き出しで示した部分でございますが、「軽微な損傷カテゴリーについてはローター遊転可能と判断され、重篤な損傷カテゴリーは運転停止の判断となり」という部分で、運転停止というのはどのような状態なのか。表現が曖昧ではないかという御指摘ございました。

こちらについては下から5行目になるのですが、「ギアボックスの損傷時は風車を発電停止状態とした上で技術員による確認を行い、損傷が軽微な場合は遊転可能と判断され、重篤な損傷の場合は、損傷拡大を防ぐためローターロックを実施します」、このように修正させていただきました。

続いて、2つ目でございます。こちらも吹き出しの部分でございますが、再発防止対策に挙げた追加措置でございます。追加措置を行うことでブレードが壊れないことを明記してくださいという御指摘と、下の赤枠部分になりますが、メーカーによる現地確認が時間的な制約により困難な場合の運用についても対策が必要ではないかとの御指摘ございました。

こちらについては、次のページでございます。追加措置については、「①のフィッシュネットについては強風時のブレード振動を抑える効果があり、②の追加メカニカルローターロック装置で確実にローターを固定し、ヨーイングに異常が生じた場合でも、10分平均で50mの風速にブレードが耐えることができます」、このように文言修正を行いました。

また下の赤枠部分については、下から2行目でございます。「台風接近までに現地確認

が間に合わない場合は、故障状況を動画や画像を用いメーカー技術員に確認を取った上で対応いたします」と変更いたしました。

次に、15ページ目でございます。事故原因の推定、8号機と13号機でございますが、こちらも吹き出しの部分になりますが、「メーカーが指定する1年ごとの定期点検が適切に実施されていない状態であった」という部分に対して、点検遅延は事故の原因か否かという御指摘がございました。

こちらについては、次のページでございます。下から2行目の赤文字部分でございますが、「間接的な要因として、適切な点検が行われていなかったことも影響した可能性があります。ヨーイングに異常を生じさせた主原因は計測範囲を超えた風速によるエラーの発生」でございました。このように修正を行っております。

17ページ目でございます。最後となりますが、こちらは前々回、第28回資料の訂正となります。該当部分は回答部分となりますが、「①当該風車はI E C 61400-1ed. 2に準拠しており、風車自体がヨーイング停止状態で、どの方向からの風に対しても10分平均で50m、3秒平均で70mに耐えられる設計となっております」と記載しておりましたが、I E C 61400-1ed. 2ではヨーイング停止状態で正面以外の風速に対する規定はなく、「どの方向からの風に対しても」という記載については当方の認識不足による誤りでございましたので、ここで訂正させていただきます。

御報告については以上となります。

○河井座長 ありがとうございます。前回の御指摘に対する回答及び再発防止対策に関する内容でした。

委員の皆様から御意見、御質問がある場合は、チャット欄に発言希望の旨を御記入ください。また、リアクションのところで挙手機能を利用いただいても結構です。順番に御指名いたしますので、指名があるまでミュートのままでお願いいたします。山本委員、お願いします。

○山本委員 山本です。ありがとうございます。

8ページをお願いします。基本的には、よっぽど本当に特殊なことがない限り、今回の対策で同じようなことが起こらないということですよ。であれば、このアナウンスの中で僕がちょっと気になるのが、「強風による飛来物などの危険性が高くなっています」というのは、強風になると飛来物が飛んでくる可能性があるのだと思わせてしまい、当たり前のように何か飛んでくることあり得るのだというような誤解を招く可能性がある思い

ました。風車を普及する立場としては、このような誤解は少し問題があるのではと思いましたが。

他の委員の皆さんの意見もお聞きしたいのですが、「大型で非常に強い台風が接近しており、台風が過ぎ去るまでは屋内などの安全な場所にとどまり、風車の近くには近づかないよう御協力をお願いします」でいいのではないかと思います。つまり、上から4行目はなくてもいいのではないかと考えております。この辺り、他の委員の皆様の見解も聞きながら調整していただければと思いました。

あと恐らくこれまでと同じような質問になるかも知れないですけれども、最後のほうのスライド、16ページを見せていただけますでしょうか。今回の事故はここに書いているとおり計測範囲を超えた風速で風向風速計にエラーが発生して、そして制御が不能になったことが原因だと理解しております。ちなみに、新しい風速計の上限値である75m以上の風が吹いた場合は、一応確認なのですけれども同じことが起きてしまうのでしょうか。

○説明者（金江） 風速計の変更を行いました。75mを超えた場合、それが60秒間続いた場合には同じようにエラーが発生してしまいます。

○山本委員 ただ、今までの状況から、そんな状況にはならないという根拠に基づいて、75mの設定をされているということよろしいですか。

○説明者（金江） はい、そうでございます。まず台風の強風については弱くなったり強くなったりという波がございますので、今現状では75mの風が60秒以上続くことはちょっと想定ができないというか、想定しておりません。

○山本委員 分かりました。結構です。

私からは以上です。

○説明者（金江） ありがとうございます。

○河井座長 山本委員、ありがとうございます。

2つ目の御指摘については今御回答いただきましたが、1つ目の御指摘については、委員の皆様の見解も含めてということだったようにお受けいたしました。4行目がなくてもいいのではないかと御指摘だったと思いますが、御意見を少しいただけますでしょうか。よろしく申し上げます。

○貝塚委員 貝塚です。この件に関してでございます。

山本先生から指摘がございましたけれども、私も防災無線でアナウンスしていただくのは大変いいことだと思ったのですが、「強風による飛来物などの危険性が高くなっていま

す」ということで、風車があると非常に危険性のあるものが飛来してしまうのだというイメージができてしまいますと、これから風力発電の普及をしていく上でも、過度な反対運動などにつながってしまうようなことが懸念されますので、いろいろな対策をなさっていますし、実際に近づかないように道路のところに表示するとか対策もなさっていますので、ここまでアナウンスする必要はないのではないかと思います、「風車の近くには近づかないよう御協力をお願いします」程度でいいのではないかなと思いました。

あとこのアナウンス内容については、平戸市さんのほうからこのような内容にしてくださいという要請があったのかどうかを確認したくて、事業者様のほうからこういった内容を提案していただいたのかどうかは、ちょっと教えていただけないでしょうか。

以上です。

○説明者（金江）　　まず「飛来物などの危険性が高くなっています」という部分に関しましては、おっしゃるとおりでございますので、こちらについては削除したいと思います。

また、このアナウンスの内容について平戸市様からの要請があったのかどうかに関しては、事業者である我々がこういったアナウンスをしてはどうでしょうかという御提案をさせていただきましたので、こちらについては平戸市様ではなくて事業者としての判断でございます。

○貝塚委員　　分かりました。

○河井座長　　ありがとうございます。この記載につきましてほかの委員から御意見ございます場合は、ミュートを解除して御発言ください。

○石原委員　　石原ですが、私、全く同じ意見なので削除していただきたいと思います。

○河井座長　　ほかの委員、御発言される場合は、どうぞミュートを外してお願いします。

○熊田委員　　熊田ですけれども、削除でいいと思います。

○河井座長　　ありがとうございます。ほかの委員の方。

○植田委員　　植田も異存ございません。

○河井座長　　ほか、いかがでしょうか。

○奥田委員　　奥田ですが、私もここまでは書かなくてもいいかなと思いました。

○河井座長　　ありがとうございます。ほかの委員、御発言ございますでしょうか。

○青木委員　　青木ですけれども、同じです。

○河井座長　　今の御指摘につきましては、削除してもいいという御意見でございますね。

○青木委員　　はい。

○河井座長　　そうしましたら今の文章、8ページのところは4行目と5行目を削除という形でよろしいでしょうか。最後に一般的に風車には近づかないようにという形、程度に記載するというので、よろしいでしょうか。私が申し上げていることが間違っている場合は御指摘ください。

○説明者（矢野？）　　事業者でございます。今おっしゃったとおり強風による飛来物というのは、やはり風車が怖いものだという印象づけに確かにつながることはおっしゃるとおりだと思いますので、こちらは削除いたします。また屋内にとどまってくださいといったお願いも、あくまでお願いベースではあるのですが少し行き過ぎた表現かなと手前どもも感じておりますので、この4行目と5行目、こちらを削除することにいたしたいと思えます。

○河井座長　　はい。

○石原委員　　石原ですが、4行目を削除するというのはいいですが、5行目も削除する。1、2、3ということ。最後の風車に近づかないことも削除するという提案ですか。強風が接近しております。どこを削除するのですか。屋内の安全な場所にとどまってくださいまで削除して、風車に近づかないところを残すのですか。どこから1行目ですか。上のほう、「こちらは……」ですか。

○説明者（矢野）　　ええ、ここを1行目としますと、4行目と5行目を削除いたします。ですので、削除した状態で読み上げます。「こちらは防災的山です。的山大島風力発電所からの御連絡です。大型で非常に強い台風が接近しておりますので、風車の近くには近づかないよう御協力をお願いします」と、こういった形でいかがでしょうか。

○熊田委員　　熊田ですけれども、それだと、やはり風車が危険というイメージなので。

○石原委員　　何か風車を強調するので私も全く同じ感覚で、むしろ台風するとき……

○熊田委員　　安全な場所にしたほうがいいですよ。

○石原委員　　屋内などの安全な場所にとどまってくださいということのほうが正しいかなど。東大にいたとき、台風のとくにトタン屋根が飛んできたのです。ちょうど正門の前にね。台風のとくに外に出ると、私自身、風工学の専門家であっても物すごい怖い思いをした覚えがあるのです。だからそういう意味で、台風が通過するまで屋内などの安全な場所にとどまってくださいというか、御協力をお願いしますのほうがいいのではないですか。「風車の近くには近づかないよう」というのは要らないのではないか。

○説明者（矢野）　　理解しました。承知しました。風車が怖いものという印象づけにつ

なおりますものね。風車に近づくなということ自体がですね。

○石原委員　　そうです。

○河井座長　　どうぞ。

○山本委員　　でも、もし風車を抜いてしまうと的山大島の風力発電所からの連絡というのはおかしくなってしまうて、それであれば地方自治体からの放送にするのが最適ではないかなと思います。これはあくまで風力発電事業者からの連絡というように初めに言ってしまうているので、一般的な連絡にしてしまうと、それは風力発電事業者からの連絡ではなくなってしまうと思いました。

○河井座長　　いかがでしょうか。

○説明者（矢野）　　でも風力発電所からの御連絡と最初に断っておりますので、屋内などの安全な場所にとどまってくださいということで、風車に近づかないという意味で御理解いただけるのではないのでしょうか。

○石原委員　　いろいろ経緯があつて余りここで議論したくはないですけども、この放送は普通やらないですが、今回の事故があつてから放送しているので非常に特殊な例なのです。

したがって、最後、風車に近づかないというのを言わないほうがいいと思います。発電所からのお願いで、屋内の安全な場所にとどまるようにお願いしますというのは、そこまでお願いしたいと思います。経緯があるので、本来どの風力発電所でもやっているわけではないです。

○説明者（矢野）　　はい。

○石原委員　　そういう意味では、なるべく風力にネガティブなイメージを与えるようなことをしないでいただきたいので、この発電所というのは特別な理由があるのです。古い風車なので、ある意味でそういう問題があつて前も随分議論して、あと5年しかとか、3年しか使わないからもうこのままで一応許容破壊確率の中でとどめて、こういう形になりました。では、どうやって安全を確保するかというので、今のアナウンスをお願いしている。私ではないけれども委員の皆様の中からこういう意見があつて、これを追加したというのが私の理解です。そういう意味では、やはり言い方としては特別なケースでもあるし、余り風車に触れないでいただきたいと思います。

○河井座長　　ありがとうございます。山本委員、御意見ございましたけれども、風力発電所からの御連絡ですということで暗に、冒頭がなくても防災のためのアナウンスという

ことで伝わるかなという感じもいたしますが、いかがでしょう。

○山本委員 山本です。承知しました。

○説明者（矢野） ありがとうございます。

○河井座長 それでは、今の件ですけれども、基本的に4行目と5行目がなくなる形で、台風が過ぎ去るまでは屋内などの安全な場所にとどまってくださいという程度の表現に修正していただくと。これでよろしいでしょうか。

○説明者（矢野） 4行目と6行目の削除でよろしいですね。

○河井座長 はい、そうです。失礼いたしました。

○説明者（矢野） 承知いたしました。

○河井座長 委員の皆様、今の件につきましてよろしいでしょうか。——ありがとうございました。

それでは、今の件につきましては、そのように修正いただくということでお願いいたします。それから続きの御意見、御質問等、挙手をお願いします。よろしいでしょうか。奥田委員、お願いいたします。

○奥田委員 先ほどの山本先生からの質問のところとかぶるのですが、風速計の測定範囲を決めるルールというものは電気事業法、あるいは風車の指針で決めているのでしょうかという質問です。事業者ではなくて経産省か、指針を決めているところに対する質問になるかと思います。

○石原委員 電安課が答えるか、あるいは実際に風車の審査に携わっている石原でもよろしければお答えします。

○奥田委員 私はどちらでもいいですが、座長のほうで決めていただければ。

○河井座長 石原先生、補足をお願いいたします。

○石原委員 基本的に風車の審査をするとき、風速計の測定範囲は、例えば、風車の設計風速が70m/sであれば、風速計が70m/s以上の性能は要求します。

○河井座長 石原先生、もう一度お願いいたします。最初、ちょっと途切れておりました。

○石原委員 70m/sの3秒ガストという設計風速であれば、その風速まで計測できる風速計の設置をお願いしています。

○奥田委員 それは電気事業法の規則としてということですか。

○石原委員 ではなくて審査のとき、電気事業法ではなく、実際ウィンドファーム認証

のとき、風速計は設計風速以上になっているかどうかを確認しています。

○奥田委員 以上かどうかまでということなのですね。

○石原委員 ええ、そうです。

○奥田委員 今回の場合は、そういう意味では、そのルールに則っていなかったということですか。

○石原委員 もともとこの風車が、最近の風車ではないですね。

○奥田委員 なるほど。

○石原委員 そこは今回非常に難しいところだったので、新規の風車であれば、型式認証を受けているはずなので、その型式認証は今電安課のほうでちゃんと審査しますので、専門家の会議でも審査しています。

○奥田委員 分かりました。そのルールだとしても、今回の風車だと風速計の許容、計測範囲を何度も超えてしまうと、途中でシステムダウンを起こすような形だったのですけれども、他社の風車ではそういう形にはなっていないと考えていいですか。

○石原委員 これは事業者に対する質問ですよ。私に対する質問だとちょっと答えられないので、要するに具体的に審査するときは案件ごと、風車ごと、型式ごとに全て違うので、それぞれに対して審査しますが、一般論的な話はしないのです。

○奥田委員 ちょっと心配になったのは、そういう設計、瞬間風速以上であるとしか言っていないのであれば、今回のようなケースはほかにもあり得ることなのかなと思ったので質問しました。

○石原委員 どなたに対して質問しているのですか。

○奥田委員 ちょっとここで議論すべき話ではないのかもしれないですけども、一応今のルールとしては、そういう型式認定をしているところで設計風速以上の測定範囲になっていることを確認していると。そういうことですね。

○石原委員 私が審査している案件は全てそうです。

○奥田委員 分かりました。

以上です。

○河井座長 ありがとうございます。ほかの委員から御質問等ございますでしょうか。——よろしいでしょうか。

それでは、これ以上の御質問、御意見等ないというように判断いたしますけれども、先ほどのアナウンスの件につきましては修正いただくということで、それ以外につきましては

は一部、奥田委員のほうから一般的なのというか、もう少し広い意味での御質問がございましたけれども、これは認証ごとに対応して適切な風向風速計の設置という形を取っていることとして、今回の御回答に対するものとは影響しないということと見なしていただきますと、今回風速計の……（音声障害）……何か御発言ございますか。

○事務局（日野） 河井先生、今音声が乱れておりましたので、ほかの委員の方、音声は大丈夫ですか（「最後のところだけ乱れました」の声あり）。

○河井座長 失礼いたしました。

それでは、幾つかの対策を講じていただいておりますので、特にギアボックスの損傷についてはカテゴリ分けとかございますが、メーカーとの綿密な相談というか、判断を経て対応していただくということ。それから定期点検、保守等の体制を強化していただくことで対策を組んでいただいておりますので、的山大島風力発電所の事故原因及び今後の再発防止対策に関する議論は本報告をもって終了したと考えますけれども、御異議ありませんでしょうか。——特に御異議を表明いただいておりますので、それでは、本件審議を終了いたします。ありがとうございます。

○説明者（金江） ありがとうございます。

○説明者（矢野） ありがとうございます。

○河井座長 それでは、続きまして、議題2に入りたいと思います。「GHRE製小形風力発電設備倒壊事故に関する報告について」、資料2を用いて上海GREENPOWERグリーンエネルギー株式会社よりスライド投影の準備ができ次第、説明をお願いいたします。

○説明者（許） どうもお世話になっております。上海GREENPOWERの許と申します。

では、このたびは先生方に集まっておきまして、誠にありがとうございます。これから第31回新エネルギーWGの資料2としてHY-0026風車倒壊原因究明及び再発防止対策について、第2報をさせていただきます。

まず目次から説明いたします。1番目は事故の概要、2番目は原因究明について、3番目は事故原因究明の結論のまとめ、4番目は再発防止対策の内容でございます。

まず事故概要に関して、2020年10月1日に九州の鷹島に設置された風車、番号は0026番です。それが倒れた連絡をいただいて、それと当日に風車の状態写真も入手いたしました。翌日もEPCさんと現場で検査を実施しました。

風車の設置場所は九州の鷹島にあります。風車自体はNK認証番号TC-0018、クラスIIの風車になっています。設置風車の同地域には、ほかの4基の風車もあります。風車は2019年3月18日に組み立てて、連系は同年4月29日です。事故の時間は2020年10月1日の朝になります。

事故機の基本情報について、出力は19.7kWです。タワーの高さは20mです。ローターの直径は15.6m。風車の立面図は右側になります。

事故の情報について、当日の倒壊時風力は約4.6mです。平均風速は5.42です。瞬間最大風速は10mぐらいです。回転速度は、倒壊時瞬間回転数が54.76rpmです。出力は、倒壊時瞬間出力は3.43kWになります。

事故の写真は右側になります。風車はタワー下のフランジのR角辺りに断裂が発生し、倒壊したということです。図面はフランジのネックのところになります。

次に行きます。事故原因の究明について、4つの部分に分けて究明いたしました。

まずは設計の図面と強度の内容です。2番目は稼働荷重の内容です。3番目はタワーの製造になります。4番目はそのほかの原因です。

原因の判定については、その中で設計耐風速の超過に対しては可能性が小さいと評価いたします。また、タワー製造の中で寸法の確認は溶接後の寸法検査。事故機の寸法検査と溶接継ぎ目の食い違いの検査は、原因の可能性が大きいと評価しております。また最後、風車建設及び保守に関して、メンテナンスの検査についても可能性が高いと評価いたします。

続いて、詳しい原因究明内容を説明いたします。まず設計に関して図面のほうは、タワー本体の材料はQ345B、フランジ材料はQ345E-Z25です。フランジは高ネック型のフランジで、タワーとフランジの溶接は突き合わせ溶接方法を採用して、継ぎ目とフランジR所は同じ位置にしないということです。つまり継ぎ目位置と応力集中位置と分離されるということです。

次はタワーの設計強度について、タワーの強度計算の極限強度は285.6MPa、材料の許容強度が295.5MPaで、屈服強度は325MPa、材料安全係数は1.1です。タワーは極限強度の状況になっても材料の耐えられる強度の範囲以内ですので、合格と評価します。

次は極限荷重調査に関して、事故発生32時間前に台風第9号が通過しました。事故発生25時間前に台風第10号が通過しました。

超風速について事故機の近辺、約30kmの距離の風車の稼働状況を全部確認いたしました。

結果のまとめは右の表に表示いたします。

次に行きます。極限荷重調査について、回転数を超過することについてSCADAのデータに基づいて風車の稼働期間以内、連系時から事故時までには最大回転数の履歴データは63.8rpm、設計最大回転数は70rpmで異常なしです。

極限振動について、地震0.3g加速度で模擬計算を実施して、結果は109MPaです。材料の許容強度が295.5MPaで、材料の耐えられる強度の範囲内ですので合格と評価します。

事故機は振動スイッチを搭載しています。0.3g加速度の振動が発生する場合、スイッチが動作し、風車が停止します。その中で0.3gの由来はメガワット風車の設計を参考にして、小形風車自身の特性を考えた上で0.3gを設定したということです。

次に行きます。回転数の波動についてSCADAの稼働データを確認して、異常な回転数はありません。正常な回転数の範囲は0～70rpmです。

次に行きます。風速の分布について、年間平均風速及び風の頻度を確認して異常がありませんでした。

疲労荷重の調査について、まずブレードが不平衡、バランスのよくないことがあるかどうか調査いたしました。ブレードの作業記録、出荷前のバランス検査などの記録を確認して異常がありませんでした。

次に行きます。ブレードボルトの緩みについて、地面に脱落した全部の断裂ボルトは風車の近くで発見されて、そのほかのところに飛散したものはないです。風車が転倒するときブレード2と1は前後して地面に衝撃して損壊されて、ブレードボルトは同じ衝撃を受けたということが考えられます。実際ブレード2のボルトの断裂状況が一番ひどかったです。次はブレード1です。事故機近辺、ほかの4基の風車のメンテナンス記録を確認して、ブレードボルトは緩み及び断裂がなかったということです。

次に行きます。ブレードボルトの材質について、同じロットのブレードボルトの材質報告書及び性能試験報告書を確認して、規格を満たして異常がありません。

次は溶接前後の寸法検査です。溶接前後のタワー本体及びフランジの寸法検査報告書を確認し、異常がありません。溶接継ぎ目の寸法検査及び目視検査はなかったです。

寸法の確認について、事故機の継ぎ目食い違いの検査について説明いたします。サンプルの確認により、タワーの内壁とフランジの内壁は食い違いがあります。最大食い違い寸法は5.1mmです。設計図面の要求は1mm以下とのことです。

次、事故機サンプルの寸法検査について、タワーの内壁とフランジの内壁は食い違いが

あることにより、内壁と外壁の溶接継ぎ目の高さはばらつきがあります。そして外壁の溶接継ぎ目はフランジがあるところに接近しています。応力集中を発生しやすいです。また食い違いがあることにより、フランジR所は溶接によって熱影響部に接近します。事故機サンプルの寸法と設計図面の要求にばらつきがあります。サンプルの寸法検査の記録表は右側になります。

次は20ページに行きます。継ぎ目食い違い検査について耐風速59.5mの場合、応力は497.3MPaで、材料の許容強度295.5MPaを超えて設計基準を満足していません。20年間の疲労損傷は4.49で設計要求の1を超えますので、20年の設計寿命を満足していません。設計寿命は4～5年になります。もし台風など暴風に遭う場合、あるいは食い違い寸法がもっと大きい場合、寿命はさらに低下することが考えられます。検査によって、最大食い違いの5.1の条件に基づいて計算した結果は右側になります。

次は21ページに行きます。タワーの製造について……（音声障害）……異常はなしです。

タワー製造の材料の材質確認について事故機のサンプルを4つ取得して、代表的な1と4をもって成分分析及び金属組織分析を行いました。試験報告書によりタワー本体の材料の材質は異常なしです。タワー下、フランジ材料の材質も異常なしです。

次は溶接棒と溶接剤などの材料証明を審査して、プロセス要求を満たして、母材へもマッチングしますので異常なしです。

次は24ページです。材料の性能確認について、規格により実際材料の引張試験の屈服強度結果数値は325MPaより大きい場合、材料の強度は異常なしとことが判明されました。

まず1番のサンプルの性能試験を実施して、試験報告書によりタワー本体材料の屈服強度数値が345Mpaで異常なしです。タワー下フランジの3と4サンプルについて計3回の性能試験を実施しました。屈服強度の平均値は314Mpaです。最小数値は310Mpaです。材料規格の要求の325Mpaより2.8%低下することが判明されました。310Mpaでもタワーの設計極限要求285.6Mpaを満たすため、この強度低下の原因で風車の倒壊が起こる可能性は非常に低いと思われます。

次は25ページです。材料の確認について断裂面の分析を説明いたします。

まず左の写真から説明します。風車の基礎部分のフランジはA、B、C、Dのエリアに分けて説明します。Aエリアは亀裂開始のところですが、BとCは亀裂伸展エリアです。Dエリアは引き裂くエリアです。Aエリアに亀裂の発生が始まり、B、Cエリアまでゆっくり、または継続的に広がります。B、Cエリアに亀裂が急速に伸展し、Dエリアまで広が

り後、急に完全に引き裂かれて風車が倒壊しました。Aエリアの亀裂の発生時間が長い
ため、湿っぽい空気にさらされてさびが発生しました。B、Cエリアは亀裂の開口が大きい
ため相対摩擦が発生し、フランジには黒い摩擦鉄粉が残っています。また第三者分析報告
書によって、黄色い矢印方向は亀裂の伸展方向です。亀裂はフランジの外壁から内壁及び
左側まで伸展します。

次は26ページです。断裂面の分析について、断裂特性は疲労断裂であり、疲労源はタワ
ーフランジ外壁に線形で分布し、外壁から内壁までに伸展するという事です。

次は製造プロセス、溶接プロセスの検査の内容です。製造プロセスは規格を満たして、
溶接継ぎ目の食い違い要求は規格の要求を上回ります。溶接方式は設計図面と一致します。

次は製造管理に関して、生産過程の管理検査は仕入先の作業員の技能（資格）、製造工
場の資格を検査して異常なしです。

次は風車の建設及び保守検査に関して組立て時、製造メーカー技師の指導があります。
風車組立記録表がないため、組立てに不適合行為があるかどうかについて証拠不足で判定
できません。定期的メンテナンスの内容に関して、初期メンテ、半年メンテ、年度メンテ
を実施した記録がないということです。台風など自然災害後の臨時点検の記録がないです。
EPCのナショナルエナジークリエイト社から、風車を設置してから2020年8月まで定期
的な目視巡回検査を実施したことはありますが、記録が残されていないということです。

次に行きます。事故原因究明の結論についてタワーの実際の溶接継ぎ目の位置が図面と
一致しないで、タワーの内壁とフランジの内壁の食い違いがあるということです。

原因の結論の2番目は、タワーの生産過程で円型溶接継ぎ目の食い違いに対して検査を
実施しましたが、検査の箇所が少なく、及び検査の不完備があることで食い違いの識別
ができなかったままで製品を出荷したということです。

3番目は、タワーの内壁とフランジ内壁の食い違いにより外壁溶接継ぎ目のR角に接近
して、タワーに応力集中が発生して寿命が急激に低下したということです。

4番目は、タワーに応力集中される場所は長期運転により疲労損傷が亀裂まで伸展し
ました。疲労源は応力集中される所にあります。

5番目は、2020年9月の2回の台風で亀裂の伸展を加速したということです。

6番目は、規定のメンテナンスは一回も実施したことがないため、亀裂及び異常なこと
が識別されなかった。風車が続いて稼働して倒壊したということです。

次は31ページの事故機の倒壊推論図です。タワー本体とフランジの溶接は食い違いがあ

って、外壁の溶接継ぎ目の位置はばらつきがあります。これによってフランジR所は溶接応力集中が発生するという事です。そういう状態で風車は、長期的な稼働によってフランジR所には亀裂があります。メンテナンスを実施しなくて亀裂が継続して伸展することで、2回の台風が通過して亀裂が加速伸展して、台風通過後、続いて運転してから約1か月後、風車が倒壊したということです。

次は32ページ、事故が発生する原因究明の内容は以上になります。これからは再発防止対策について説明します。

まず、まとめから説明します。健全機に対して、事故機以外の40基全数の風車に対して目視検査を実施しました。同じロット下フランジ材料を利用した4割の風車に対して非破壊探傷検査を実施しました。また、全数風車に対して食い違い検査を実施しました。検査の結果を分析し、リスクのレベルを分別しました。高いリスクの風車に対して振動センサの改良及びタワーの交換を全部実施します。低いリスクの風車に対して補強リングを追加設置します。振動センサを改良し、メンテナンスの頻度を増加します。許容リスクの風車に対して振動センサを改良し、メンテナンスの実施を確保いたします。

また今後の出荷品について、製造工場向けに食い違い検査の箇所を増加します。溶接継ぎ目の寸法検査及び目視検査の実施を要求いたします。GHRE向けは品質コントロールを強化します。食い違い検査及び寸法検査について全数で実施します。

また風車の運営及びメンテに関して、定期的メンテナンスを実施する重要性を周知いたします。台風など自然災害が発生後、事業主に臨時メンテナンスの注意を通告いたします。

次に行きます。まず再発防止対策について、健全機の再発防止対策を説明いたします。項目については事故機、鷹島風車、同ロット下フランジ材料を利用した風車と同型式風車の分類から説明します。

まず事故機について、サンプルの検査と食い違い及び風向、地形などの分析を実施しました。

そのほかの4基の風車について目視検査を実施して、非破壊探傷検査を実施しました。3番目は溶接継ぎ目の食い違い寸法検査及び風向、地形などを分析して、結果はスライド36番で報告いたします。

同ロット下フランジ材料を利用した風車は目視検査と非破壊探傷検査を実施しまして、溶接継ぎ目の食い違い寸法検査と分析を全部実施しました。

同型式の風車について全数で目視検査を実施しました。溶接継ぎ目の食い違いの寸法検

査を実施して、分析は全部実施しました。

次に行きます。34ページは、健全機の中で全数の目視検査の結果及び4割の非破壊探傷検査の結果は異常なしです。

次は35ページです。食い違い検査の概要について、まずフランジ平面を基準として、フランジ外円と継ぎ目近辺のタワーシェルとの距離を測量します。食い違い検査は24方位実施します。24方位の測量値を記録して、最大値、最小値と主風向の関係を分析します。

食い違い検査報告のまとめは、まずリスクによって4種類を説明いたします。

まずリスクがない風車について判定の基準は0～1mm、1mm以内ということです。プラス側とマイナス側です。対応風車はゼロ基です。

2番目は許容リスクです。許容リスクの判定基準はプラス側は1mm以上、2.8mm以下のことです。マイナス側は-5.2～-1mm以内のことです。該当する風車は17基あります。対策について、メンテナンスどおりに保守することで振動センサを改良します。

次は3番目のリスクが低い風車で、判定基準はプラス側は2.8～4.9mmのことです。マイナス側は数値によらないということです。該当する風車は17基あります。対策についてはメンテナンスのマニュアルどおりに保守することと、振動センサを全数改良します。また、全数の風車に対して補強リングを追加します。補強リングの保守内容も定期的メンテナンスの内容に追加します。

最後のリスクが高い風車について判定基準は、プラス側の食い違い数値は4.9mm以上のことです。マイナス側は最大食い違い数値によらないということです。対策措置について振動センサを全数改良します。また、リスクが高い風車は全てタワーを交換します。

次に行きます。許容リスク風車判定について風車は保守的な設計を採用し、強度計算に対して一定の余裕があります。大量の計算によって円周の食い違いが+2.8mm、-5.2mmの場合、荷重安全係数は1.35の条件によって荷重計算の結果、20年の設計寿命及び風車の安全を満たすことが分かります。

次は38ページ、低リスクの風車に対して補強リングを取り付けます。補強リングの上の部分はトルク管理を通じてタワーのシェルと連結し、下部分はフランジと連結します。補強リングを取り付ける目的は一部の食い違いがあるタワー、つまり低リスクタワーです。それを補強し、風車ユニットの設計要件を満たすように対策をすることです。

原理から見ると、本来タワーはタワーシェルを介して荷重を伝達します。以下、赤色のルートのとおりです。補強リングを設置した後、補強リングとタワーシェルをトルクで締

めて、補強リングとリブを通じても荷重は伝達できます。このとき荷重の伝達ルートは前の1つから2つに増加します。

次は39ページです。補強リングについて、まず補強リングの規格、材質及び図面を説明いたします。

補強リングの部品については、連結板、固定リングリブつき及びボルトなどになります。補強リングの取り付けについては、まず連結板は順次フランジの上に取り付けます。固定リングは連結板の上に取り付けます。連結板取付けが完了した後に固定リングの環状のたがを構成します。4番目は固定リングを締めつけます。5番目は連結板の穴の位置にボルトを配置するという事です。6番目は固定リングと連結板の取付け完了の図面になります。

次は40ページ。HY-0012番風車の食い違い寸法、最大食い違いは4.9mmにて模擬計算を実施しました。食い違い分布の図面は以下になります。

次は41ページ。この風車に対して補強リングを追加した場合、円周の食い違いが4.9mm、荷重安全係数が1.35の場合、荷重計算の結果は202.5Mpaです。20年の設計寿命及び風車の安全を満たすことが分かります。追加前の荷重結果は369.1Mpaです。応力集中は約45%削減して効果は明らかです。補強リングを追加した場合、風がどの方向から強く吹いても対策できます。

次は42ページです。補強リング追加の検証試験について、0012番の風車のタワーと全く同じ試験タワーを作成しまして、補強リングを追加する前後の応力の変化と区別を測定します。試験によって補強リングを追加した後に、箇所に応力測定点で測定した応力は明らかな削減が分かります。試験によって食い違いの4.9mmの削減比率は51%で、模擬計算の削減比率の45%と近いです。誤差が発生する原因はプリロード、試験タワーの製造精度などの要因を推定いたします。

次は、再発防止対策の品質管理対策について説明します。まず食い違い検査について、タワー製造のプロセスの検査要求のとおり食い違いの検査を実施しましたが、検査の箇所が少なく、検査後のデータも少ないです。2番目はタワーの溶接継ぎ目の寸法検査及び目視検査がなかったということです。

それに対して改善後は食い違い検査箇所を増加し、検査報告書を改善します。改善内容のとおり実施します。改善後、食い違い検査は24か所になります。2番目はタワー溶接継ぎ目の寸法検査及び目視検査を要求します。それと、その要求についてのトレーニング

を強化いたします。

次は45ページです。G H R E側の品質管理の改善について、改善前、食い違いの検査は、G H R Eは製造プロセス資料だけ審査するという事です。改善後は資料を審査すること以外、実物への全数検査を実施します。2番目は食い違い検査への認識が強くないことです。改善後は、食い違い検査は重要な確認項目として品質コントロール手順及び方法などを規定いたします。3番目はタワー溶接継ぎ目の寸法検査について、改善前はプロセス資料を審査するという事です。改善後はプロセス資料を審査する以外、検査内容を周知いたします。関連の教育、トレーニングも強化いたします。

次は46ページに行きます。風車の運営及びメンテナンスについて改善対策を説明いたします。風車組立記録表を未提出及びメンテナンスマニュアルどおり未点検への対策について、まず代理店及び事業主へ風車の安全稼働及びメンテナンスの教育と案内を強化いたします。メンテナンス未実施の危険性を強調いたします。2番目、メーカーは代理店及びE P Cに対する資格審査を強化いたします。3番目はメンテナンス未実施への対策措置を強化します。S C A D A、メール、電話など通常措置以外に相応な監督部門へ不適切案件を通報いたします。

そのほかの最適化対策について、まず1番目は代理店、事業主へ風車の運用環境の教育及び案内を強化いたします。2番目は台風など自然災害が発生後、遠隔監視システムまたは、そのほか一切の有効的な手段で事業主へ臨時メンテナンスの注意を通告いたします。

内容は以上でございます。

○河井座長　　ありがとうございます。

引き続き、株式会社センコーコーポレーションの前田様から御説明いただけますか。

○説明者（前田）　　センコーコーポレーションの前田と申します。よろしく願いいたします。

今回の鷹島の牧ノ岳第一小形風力発電所の倒壊につきまして、弊社のほうとしてはメンテナンス、点検業務につきましてはH Yさんというところに、最終的にはそこがやる、やらない。いろいろな項目の点で、うちの契約先との合意がうまくできずというところで、前は間に入ってもらったところが目視の点検をしているという形でした。しかもその記録が現在残っていないという形で、ちょっとお粗末な形になってしまっていたのは非常に申し訳なかったと思っております。

それにつきまして今後、再発防止ということで、改善点としてそこに挙げさせていただ

きましたけれども、現在は倒壊している牧ノ岳第一以外のところについては点検委託会社とはもう既に契約を結んでおりますので、併せて再度確認をしますけれども、そこに今後点検記録の保存も当然義務化していただいて、しっかりと確認をいただくということがまず1つ。

もう一つは、弊社もまずは点検委託会社のほうにお任せしっ放しではなくて、点検記録を基に発電所の状況の把握に努めて、何かあったときには保守会社、それとメーカー様、G H R Eさんと連携を取って、すぐに対応できる体制を取りたいと思っております。

3点目としては台風通過等、自然災害が考え得る場合では、台風のさなかというのは当然危険ですので点検に際しての安全面が確保でき次第、通過後に臨時的に目視点検、もしくは必要があればメンテナンスを行うという形で、迅速な対応を行いたいと思います。

4点目としてはメーカーさんの点検教育もしくはメンテナンスのマニュアルに沿って定期的な点検を実施して、異常が見られた場合にはメーカーさんの指示、もしくはそういったものに従って対応をする。そのためには何か異常が見られたときに、メーカーさんにすぐさま相談ができるようにという対応を取るようになっていきたいと考えております。

弊社のほうで考えています再発防止策として以上になります。

○河井座長 ありがとうございます。前回の御指摘に対する回答及び再発防止対策に関する内容でございました。委員の皆様から御意見、御質問がある場合は、チャット欄に発言希望の旨、御記入願います。あるいは、挙手機能を使用していただいても結構でございます。順番に御指名いたしますので、指名があるまでミュートをお願いいたします。

それでは、御意見等ございます場合はよろしくをお願いいたします。青木委員、お願いいたします。

○青木委員 最初の資料の38ページ目を開いていただきたいのですが、結局溶接の耐力が足りない部分を補強リングで補うことは理解したのですが、単純に溶接強度とリングによる補強強度を足せるのは挙動が一体化している前提なのですが、この補強リングは塔体と一体化していると言っているけれども両側で締めているだけですよね。そうするとリング補強が滑ったりした場合の壊れ方としては溶接が切れて、それから補強リングが切れる。このディテールだと耐力を単純に足し算できないのではないかと思うのですけれども、ほかに専門家がいらっしゃるのです、石原先生、どうですか。

○河井座長 そのようにお願いいたします。事業者さんのほうからお願いします。

○説明者（許） 今タワーとリングの連結方法は溶接も接着剤の固定もなく、ボルトの

フープ工法で固定してプリロードで締めるということです。締めつける箇所が2か所あって、今回我々が補強案を採用する根拠について、まず説明したいということです。

元の測定を通じて、タワーシェルの周りの95%の箇所は全て合格です。つまりある箇所で食い違いがあるということです。これがまず1つ。2番目は補強の部材はプリロードで締めて、ほとんどの部分はタワーシェルと接触できることが保証できます。3番目は個別の箇所はタワーシェルと接触しなくても、補強部品の交換に影響することはないと思います。荷重は隣接する補強部材のリブプレートを介してアンカーボルトに伝達できますので、荷重の分散される目的を果たすことができます。

以上です。

○青木委員　滑ってしまえば足し算ができないということなので、あと一つは、そういう物理的な足し算ができないのではないのかという話と、リング端部のボルトが飛んでしまったらもう全く補強効果はゼロになるのですよね。こういう脆性的な壊れ方をする補強は望ましいのでしょうか。これはほかの先生の意見をちょっと聞いてみたい。

○河井座長　今御指摘のところ、許さんのほうに届いておりますでしょうか。補強リングの接続の強度もごさいますが、この辺り補足できますか。

○説明者（許）　まず補強リングは先ほども御説明したとおりプリロードの形でずっと食い違いがあるところと、補強リングまたはタワーシェルを連結できるように、そういう設計になっていますけれども、また計算及び実物の検証試験を行って、結果から見ると応力集中の分散の目的を果たすことができますので、我々の認識は有効的な対策になっていると思います。

○河井座長　今スライドが映っておりますけれども、右下に補強リングを締めてプリテンションを与えて、フープストレスを与えて締めつけるという形になっておりますね。

○説明者（許）　はい。

○河井座長　締めつけの、ここがもし壊れたら、フープストレスが解消されて締めつけ効果がなくなってしまうのですけれども、その辺りの耐久性が評価されているかということが関係するかと思いますが、いかがでしょう。

○説明者（許）　耐久性の問題について、我々補強リングの保守は年2回あります。そのメンテナンス内容も、風車のメンテナンスマニュアルの中に追加いたします。そういう定期的なメンテによって、補強リングのプリロードがずっと管理される状態を確保するということです。

○河井座長 分かりました。青木委員、いかがでしょうか。

○青木委員 応力緩和になると一生懸命言っているのだけれども、リングが滑るような挙動を許容しては駄目だと思うのですよね。補強リングと、とにかく塔体が一体になっていけば応力緩和になると思うのだけれども、そこが滑るということはもう補強の意味をなさないことになります。

○説明者（許） 溶接について、たしか一体化になる方法を実際に我々も考えたことがありますけれども、現場で操作するとき溶接の熱の影響とか、及び現場の操作の便利性から見るとなかなか実施することが難しい。補強リングを取り付けることについては現場の操作もやりやすいし、及び計算と試験によっては荷重の伝達ルートを超過することによって、応力集中の問題も対策できるという考えでした。

○河井座長 ありがとうございます。青木委員の御指摘なのですけれども、私が聞いて理解した範囲では締めつけることによって、ちょうど先ほど亀裂が入った辺りの応力集中を下げるができるということで、この締めつけがなくなると困るのですけれども、締めつけ状態が維持できれば応力集中を低減して、設計寿命を満たすことができる状況に持っていけるというお話かと思うのですが、青木委員、もう少し御指摘のところを具体的にお願いできますでしょうか。あるいは石原先生、関連して。

○石原委員 私も今座長がおっしゃっていることと同じ理解なのですが、要するに今青木委員がおっしゃっているのは、これが溶接ではない。締めつけているので、例えば滑ってしまって応力集中のところの応力を分散させることができないのであれば、効果はないということになるのです。

私から1点、確認させていただきたいのですが、FEM解析は確かに今の溶接部分に作用する応力は下がっていることを計算によって確認されたということです。もう一つは、発表の中で実際に試験をされたのですか。例えば実際にリングを設置した場合と設置しないとき、溶接付近にゲージを張って応力は下がっているとか、そういうことを試験されたと理解してよろしいですか。

○説明者（許） はい、そのとおりです。

○石原委員 今42ページが画面で示されているのですけれども、試験というのは、ここを示しているということですか。

○説明者（許） はい、そうです。

○石原委員 右側の下、もうちょっと詳しく説明していただけますか。例えばリングを

設置する前と設置した後に、青のは設置前ですね。

○説明者（許） はい。

○石原委員 値がA地点というのがあって、A地点の応力は40Mpaを超えているものを、その後20Mpaまで半分ぐらい下がった。50%下がっていて、もう一個のほうはもともとマイナスなのですけれども反対側ですから、それも-35ぐらいから-20ぐらいまで、37%ぐらい下がった。下がったのはある荷重が作用したとき、上のほうが1,200kgあります。今A地点で測っている。何を測っているのですか。

○説明者（許） 応力の数字。このぐらいの荷重をかけましたら、この測定点で測られた応力の数字になります。

○石原委員 丸ですから計算して、普通は測っているのはひずみなのですよね。そのひずみが変わった。あと応力というのは実際に計算しないと出てこないんで、ひずみから計算して応力を出したと思っているのですが、その理解でよろしいですか。

○説明者（許） はい、そうです。

○石原委員 そういう意味ではひずみが半分ぐらい下がって、そういう理解であれば、こういう試験をされて計算もされているということで、今のリングが実際タワーに作用する応力を下げることができるので、結果的に疲労荷重を下げることができたというのが私の理解なのです。

私の見解は以上です。

○河井座長 ありがとうございます。今のページの真ん中にある2つの絵は、これはひずみを測定している絵ですね。

○説明者（許） はい。

○石原委員 ちょっとごめんなさい。赤い線を張っているところがひずみゲージで、今データを取っているところですね。ひずみゲージから出た信号を収集している装置ですよ。

○説明者（許） 今の測定器は応力を測定する機械ですので、その上に……

○石原委員 例えば今測っている、ゲージを張っているところは外側ですよ。

○説明者（許） 今測っている図面は、左側の食い違いの分布の図面になります。

○石原委員 それは分かっているけれども、これは非常に重要な話なのですが、今測っているのは右側のリング補強後に関して、左側の図がリングを補強する前だとすると、基本的に中のタワーの応力を測っていることと理解してよろしいですね。

○説明者（許） （通訳中）

○石原委員 私はフランジを言っていないので、そういう通訳をしないでください。

○説明者（許） すみません。

○石原委員 なぜかというと間違っただけで通訳すると混乱するのです。私が質問したのはフランジのことではなくて、あくまで今測っているのは、リングを追加する前に測っているのはタワーのひずみですよ。

○河井座長 石原先生、ちょっと音声が……。

○石原委員 では、もう一回申し上げますけれども、補強リングを未追加。追加する前に測っているのは、タワーの応力を測っていると理解してよろしいですか。

○説明者（許） そうです。

○石原委員 そうすると今度追加した後に測っているのも、同じ位置のタワーのひずみと理解してよろしいですか。

○説明者（許） はい、同じ位置のタワーシェルのところ。

○石原委員 分かりました。そういう意味では今のリングを設置すれば、拘束すればタワーに作用する応力が右側の図に示すように、確かに減ったというのが私の理解です。

以上です。

○河井座長 ありがとうございます。青木委員、いかがでしょうか。

○青木委員 結局、リング補強の効果は締めつけ力と摩擦に物すごい依存するのです。それを一つ試験で確認したからと言って実現場で、これを再現できますというのはちょっと無理があります。私も別に必ず溶接しなくてはならないと言っているのではなくて、前提条件となる締めつけ力と摩擦でずれないということが、ちゃんと実現場でも必ず再現できますかということです。摩擦面の評価としては粗面を塗料ではなくて例えば一般的に行われて評価法が確立したさびを発生させずれないようにするとかであれば、試験体一体でも実現場でも再現は可能ということは理解できます。今回のディテールでは構造物の評価の常識からは外れている。どうしてもこれで駄目だというわけではなくて、これで行くのであれば、そういう意見を残しておいてほしい。奥田さんの意見も聞きたいですけれども。

○河井座長 ちょっとよろしいでしょうか。許さん、事業者さんのほうですが、有限要素解析をする場合のリングと、それからタワーの摩擦は、どのように境界条件を設定された解析をしておられますか。

○説明者（許）　　まず固定リングの機械の中を説明します。リングは2つの半円で、真ん中は少し隙間があるということです。ここはプリロードで締めつけるということです。また2番目は、計算するときには摩擦の係数は、こちらは0.2の数字を採用して計算したということです。

○河井座長　　今御説明になったのは、フープでリングとタワーとの摩擦が今おっしゃった摩擦係数ですか。

○説明者（許）　　先ほど話した摩擦係数0.2は、このリングとタワーシェルの摩擦のことです。

○河井座長　　そうすると滑りを考えた上での有限要素解析で、フープ応力の締めつけ状況でもってどれだけ改善されるか解析をされたということですね。

○説明者（許）　　はい。

○河井座長　　本件につきましてほかの委員からも御発言いただければありがたいのですが、いかがでしょうか。お願いします。

○石原委員　　石原ですが、まずさっき50%下がっている、あと37%下がっている実験をやっていたシミュレーションも同じ結果ですか。

○説明者（許）　　シミュレーションというのは。

○石原委員　　要するに今回FEM解析した結果も、A点とB点ですね。さっき示している値は試験の結果ですよ。

○説明者（許）　　これ（42ページ）ですね。

○石原委員　　この結果が、試験の結果と理解してよろしいですか。

○説明者（許）　　はい。

○石原委員　　これと同じFEM解析の結果はありますか。

○説明者（許）　　シミュレーション、模擬試験の計算は前のページです。

○石原委員　　今の応力集中が45%減ったということはA点なのですか、それともB点ですか。

○説明者（許）　　A点です。

○石原委員　　そういう意味では一応この計算条件で多少の誤差はあるのですが、実験とほぼ同じ精度でちゃんとシミュレーションできて、実際実験も再現されているというように私は理解しているのですが、青木委員の質問は恐らく実際に現場でそれをやって、もともと溶接ではないので、当然ながらそこを拘束するときの条件です。今のような試験をす

るときの試験台と違って、例えば拘束しようとしているところがもともとすれ違いがあって、それで拘束したことによって本当にこの効果が得られるのか心配されていると私は理解しています。そういった問題について現場で拘束リングを設置した後に何らかの形で確認するとか、あるいは現場で何か確認試験をするとか、そういう計画はあるでしょうか。

○説明者（許） その計画は当然でございます。今回補強リングの追加案を報告させていただいて、これは駄目とか、そういう指摘がございましたら、次に我々は風車設置の現場で補強リングを追加することを、もう一回検証したいということです。

○石原委員 もしそれができるのであれば、今青木委員が心配されていることが検証できるので、私もぜひリングを設置する前とリングを設置した後、荷重を受けるので、それを一回試験していただければ、補強リングの効果を現場で検証できるので、そういった形ですればかなり精度が高くなると思っておりますが、私のコメントは以上です。

○説明者（許） はい、分かりました。では、こちらは風車現場でお客様と相談した上、検証試験をもう一回やれるように手配いたします。

○河井座長 ありがとうございます。今の観点以外から御指摘等ございますでしょうか。今補強リングの現場設置について懸念の御指摘がありました。奥田委員、お願いいたします。

○奥田委員 私もこの部分については事前説明の段階でも、やはりこのリングは滑るのではないかとすごく疑問に思ったので質問させてもらったのですが、摩擦係数0.2というのも、こういう塗装面で本当にそのぐらいあるのかも分からないし、石原先生がおっしゃっているように現場での確認が必要かなと思いました。

それで私の質問は、食い違いの設計値は±1mmと資料で書かれていたのですが、36ページにクラス分けの表があるのですが、結局±1mm以内で合格したのはゼロということなのですよね。

○説明者（許） はい、そうです。

○奥田委員 ということは、もともと設計値が厳し過ぎるのか、あるいは施工技術が悪いのか、そもそも設計値が意味をなしていないことになると思うのですが、これは何か対応策が必要なのではないですか。設計値としては±1mm以内に収まるようにするというのは、応力集中とか起こさないような許容値ということで設計値が示されていると思うのですが、実際の製造過程では、これを守ることができない基準だということによろし

いですか。

○説明者（許） 食い違いに関する設計要求は1 mm以内のことで、設計の図面とか要求を下請に、タワーの製造工場に伝えましたけれども、実際は商品を製造された後、食い違い寸法の確認に関して下請工場には3か所だけ測量いただいて、報告書をいただきました。その報告書から見ると合格の内容でしたけれども、仕入検査をするときに報告書の審査だけでしたので、こちらの品質管理とプロセス管理に大きな不足があることを発見いたしました。それについて改善の対策は書類審査だけではなく仕入検査をするときに全数、実物の寸法検査を実施するという事です。及び改善前の検査点は3か所しかないということでしたので、これについても我々がアンカーボルトの枚数と合わせて24か所の検査箇所に増加いたします。

○奥田委員 分かりました。そして、この24か所を検査した結果がそれぞれ各点で±1 mm以内であるということですね。

○説明者（許） 合格品と。

○奥田委員 そういうことですね。

○説明者（許） はい。

○奥田委員 分かりました。では、今後は、24か所、±1 mmの範囲が確認されたタワーが使われるということですね

○説明者（許） はい。

○奥田委員 了解しました。

○説明者（許） ありがとうございます。

○河井座長 今のことで少し気になるのですけれども、奥田先生からの御指摘に対して今御回答がありましたが、そもそも設計要件として1 mm以下という要件、ゼロ件なのですが、これを満たす方向で考えるのか。その1つ上の、特に補強リングなしでクラスIでしたか。2番目のクラスの、こういうクラス分けでリスクを判断して、正確に対応できるように品質管理しますということですか。要するに一番上のリスクがない状況での納品というか、品質を管理することをおっしゃっているのか。このクラス分けに従って正確に管理できると。そういう方針をおっしゃっているのか、どちらですか。

○説明者（許） 先ほどお話しした検査及び仕入先の管理はこれからの商品についてで、現在事故機と同じ型式の風車は日本でトータルで全部で41基あります。倒壊風車以外の40基の風車に対して、今回リスクのレベルを分別いたしました。

○河井座長 分かりました。今回の機種についての対応ということで、今後については検査に基づいてリスクのないものを使うと。そういう方針ということですね。

○説明者（許） そうです。食い違いの検査のプロセス資料及び弊社の品質管理マニュアルは全部この事故が発生した後に、2020年の年末ぐらいにもう既に更新いたしましたので。

○河井座長 分かりました。ほかの委員から御指摘等ございますでしょうか。——よろしいでしょうか。

そうしますと今多くの御議論いただきました件は、先ほど補強リングのお話で、現場施工について確実に実施できる確認がほしいということがあろうかと思えます。その点についての確認を含めた形でもう一度、今回の意見全般にわたっての回答を含めまして、次回のWGで再度詳細な報告をお願いしたいと思えますが、いかがでしょうか。

○説明者（許） 分かりました。こちらも、また。

○河井座長 委員の先生方、いかがでしょうか。——よろしいでしょうか。

それでは、大事なことですので、今御指摘ありましたことについて改めて詳細な御報告を次回お願いいたします。

○説明者（許） 承知いたしました。ありがとうございます。

○河井座長 ありがとうございます。

それでは、本日の議題は以上となりますが、事務局から連絡事項等お願いいたします。

○事務局（日野） 電力安全課の日野です。

本日は活発な御議論をいただきまして、誠にありがとうございました。

そうしましたら次回WGの開催についてですが、今後座長の河井先生とも御相談の上、後日、調整させていただければと思っております。

それから本日の議事録に関してですが、これまでと同様に後日、経産省のホームページに掲載したいと思っております。

事務局からは以上になります。

○河井座長 ありがとうございます。

本日は委員の皆様、お忙しい中、御出席いただきまして、誠にありがとうございます。またいろいろと御指摘いただきまして、ありがとうございます。

それでは、本日は以上をもちまして、この会議を終了いたします。

——了——