

浜岡原子力発電所5号機 非常用ディーゼル発電機（B） 排気管伸縮継手破損による排気漏えいに伴う運転上の制限 からの逸脱に係る中部電力からの報告に対する評価及び 今後の対応について

平成31年1月16日
原子力規制委員会

1. 経緯

平成30年6月5日、中部電力株式会社（以下「中部電力」という。）は、浜岡原子力発電所5号機原子炉建屋1階（放射線管理区域外）に設置している非常用ディーゼル発電機（以下「D/G」という。）（B）の各シリンダ出口排気温度差が目標値を上回っていることを確認し、あわせて、排気管伸縮継手（以下「ベローズ」という。）付近から排気漏えいを確認した。このことから、中部電力はD/G（B）を点検するため待機除外としたことにより、保安規定に基づく運転上の制限からの逸脱¹を判断した。

その後の調査により、1個のベローズが破損しており（別紙1参照）、消耗品の交換や機器の調整により復旧できるものではないと判断したことから、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条第5号に定める報告事象に該当すると判断し、同日、原子力規制委員会に報告した²。

本事象に伴う外部への放射能の影響はなかった。

2. 事業者からの報告内容

原子力規制委員会は、中部電力から上記の事象に関する報告を受けた。

その概要は以下のとおりである。

2. 1 原因調査

ベローズの破損状況を確認するとともに、当該ベローズの設計、製作、施工、運転管理、保守管理、経年劣化（腐食、材料劣化、熱疲労³など）、運転経験の反映の観点から破損要因の可能性を検証した結果、施工及び経年劣化（熱疲労）から破損要因を抽出した。

¹ 浜岡原子力発電所の保安規定では、運転上の制限として、原子炉の状態が冷温停止及び燃料交換の期間においては、非常用高圧母線に接続する非常用ディーゼル発電機を含む2台の非常用発電設備が動作可能であることが要求されている。

² 平成30年6月13日原子力規制委員会「原子炉施設におけるトピックス」参照。

³ D/Gの起動・停止に伴う排気管の熱伸縮により、ベローズに繰り返しひずみが付加されて生じる疲労をいう。

2. 1. 1 ベローズの破損状況の確認

破損したベローズの破片を回収し、その破片を組み直し、その外観確認を実施、その結果、組み直したベローズの2箇所には大きな円弧状の打痕があり、いずれもその中心部に鋭角な打痕が認められた。(別紙2参照)

また、破損したベローズの破片に対して、光学顕微鏡及び走査型電子顕微鏡による破面観察を行ったところ、破面の大部分はつぶれていたが、一部に疲労破壊の特徴であるストライエーション状模様⁴を観察した。

2. 1. 2 施工に関する要因調査(打痕)

上記2. 1. 1で確認された打痕を起点にベローズが破損した可能性があることから、ベローズに打痕を与える可能性のある作業の有無を調査、その結果、当該ベローズの取替作業(平成20年)以降は保温材の取り外しを伴う作業は一切行っていないことが分かった。

一方、ベローズの取替作業については、取替え作業の手順に打痕が付くことを防止する対策が明確化されておらず、中部電力社員が取替え作業に立ち会った記録もないことから、取替え作業時に打痕が見逃されていた可能性があるかと推定、さらに、ベローズ取付けの作業エリア下部に突起物(吸気管の吊りピース座)があることから、ベローズの取替え作業時にベローズを作業エリアの突起物に落下させた可能性があるかと推定した。

2. 1. 3 経年劣化に関する要因調査(熱疲労)

ベローズが定例試験時等における熱疲労に起因して破損する可能性を検証するため、D/Gの起動・停止回数と設計上の寿命回数を比較、その結果、D/Gの起動・停止回数は設計上の寿命回数よりも十分少ないことから、熱疲労がベローズを破損させる単一要因にはならないと評価した。

一方、破面観察では疲労破壊の特徴であるストライエーション状模様が確認されていることから、他の要因と熱疲労の複合要因によってベローズが破損した可能性があるかと推定した。

2. 2 事象発生時の推定メカニズム

構造解析の結果から、ベローズの健全部に比べて、打痕近傍でひずみ量が増大すること、破損したベローズと同程度の繰り返し回数(約160回)で疲労割れが発生する可能性があることを確認した。

また、破損したベローズで確認された打痕と類似の鋭角な打痕形状を模擬した試験体を用いて繰り返し疲労試験を行ったところ、打痕部の周辺に疲労割れが発生することを確認した。

⁴ 疲労破面において電子顕微鏡レベルで観察されるすじ模様をいう。

このことから、打痕と熱疲労の複合要因によって初期亀裂が発生し、一旦亀裂が生じた後は、D/G運転中における排気の吹き出しによる周期的な振動によってベローズの亀裂が進展し破損に至ったと推定した。

2. 3 ベローズ破損がD/Gの機能要求に与える影響

ベローズ破損によるD/Gの排気の漏えいがD/Gに要求される機能へ与える影響（直接的影響）及びD/G室内の機器や室内環境への影響（間接的影響）について評価、その結果、1個のベローズとその内筒が完全に破損し、そこに流れる排気が全量漏えいしたと仮定した場合においても、D/Gの発電機出力、回転数、起動時間、燃料使用量などの機能要求⁵及びD/G室内の機器や室内環境への影響がないと評価した。一方で、複数のベローズが破損した場合⁶にはD/Gの機能要求等を満たさない可能性があるとして評価した。

2. 4 再発防止対策

本事象の発生原因が組立時における打痕と運転時の熱疲労の複合要因で発生したものであると推定したことを踏まえ、以下の再発防止対策を行う。

2. 4. 1 打痕が付くことを防止する対策

- ・ 協力会社が行うベローズ取付け後の外観確認に中部電力社員も立会う。
- ・ 現場確認の徹底、現場作業手順の改善。
 - － 取付け作業実施におけるベローズへの打痕防止用の養生を実施する。
 - － 取付け時のベローズ落下防止対策を実施する。
 - － 締付け時の適正（専用）工具の使用を作業手順に追加する。
 - － 取付け後の外観点検時の判定基準を作業手順に追加する。
- ・ 作業員等への注意喚起、教育。
 - － 作業要領にベローズの取扱いに関する注意を記載する。
 - － 現場監督者及び現場作業員に対し、着工前及び取付け作業前の打合せ時にベローズの構造やその取扱い上の注意点について注意喚起を行う。
 - － 中部電力社員及び協力会社社員用の教育プログラムの中に本事例を盛り込む。

⁵ 中部電力は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」をもとに、D/Gに要求される機能を抽出し、影響を評価している。

⁶ 中部電力は、排気ガスの漏えい量を本事象から算出した値を用いた上で、D/G出力を実績値と仮定した場合（現実的な仮定の場合）には、別々の排気管に取り付けられているベローズが2個破損したとしてもD/Gの機能要求等への影響がないと評価しているが、3個以上破損したらD/Gの機能要求を満たさない可能性があるとしている。一方で、本文と同じようにベローズその内筒が完全に破損したと仮定した場合（保守的な仮定の場合）には別々の排気管に取り付けられているベローズが2個破損したらD/Gの機能要求等を満たさない可能性があるとしている。

2. 4. 2 打痕を早期に検知するための対策

- ・ 上記2. 4. 1の対策により、打痕が付いた状態で使用する可能性は低いものの、何らかの要因によって打痕等の異常が発生する可能性を考慮し、外観点検を定期的に行い、異常が発生していないことを確認する旨をD/Gの点検計画に明記する。

2. 4. 3 ベローズが破損した場合の対策

- ・ 保温材を排気が漏れやすくかつ外観確認を可能とする形状に変更することで、排気の漏れい場所の早期特定及び破損の兆候を把握する。
- ・ ベローズの予備品を配備し、事前に取り替手順を定め、速やかな復旧を可能とする。

3. 原子力規制委員会の評価及び考察

3. 1 安全上の影響について

中部電力は、上記2. 3のとおり、1個のベローズとその内筒が完全破損したと保守的に仮定した場合においてもD/Gは機能要求等を満足できると評価している。原子力規制委員会としては、排気管の構造や中部電力の評価結果を踏まえると、D/Gの機能要求等への本事象の影響は限定的であると考えられる。したがって、仮に、外部電源喪失などの事態が発生してD/Gが起動した際に本事象のようにベローズ1個が破損したとしても、D/Gの運転は継続可能であり必要な電源は確保できると考えられる。

3. 2 原因調査結果、再発防止対策等について

中部電力は、原因調査結果及び推定原因として、ベローズの復元を実施し、外観確認を行うとともに破片の破面観察を行い、その結果に基づき設計、製作、施工、運転管理、保守管理、経年劣化などの観点から要因分析を行い、それらの結果から原因を特定し事象の発生メカニズムを推定している。原子力規制委員会としては、鋭角的な打痕が本事象の要因の1つであることは認めるものの、当該打痕と熱疲労の複合要因によって発生した初期亀裂から排気の吹出しによる周期的振動によって短時間でベローズ内に亀裂が進展したとする推定メカニズムについては、排気の吹き出しによる周期的振動による荷重等の試験、解析等が行われておらず、また、疲労亀裂の起点となり得る表面亀裂や微小欠陥に関して広範囲なベローズ表面の観察も行われていないことから十分に解明されたとは言えない⁷。3. 1で述べたように、本事象がD/Gの機能要求等に与える影響は限定的であるものの、安全上重要な設備の健全性維持・向上の観点から、中部電力は、引き続き、事象発生メカニズムの解明に取り組み、得られた知見を他事業者等に広く共有するべきである。

⁷ 中部電力は、再発防止対策と直接的に関係がないとして再現試験等の更なる調査を実施していない。

一方で、本事象の要因の1つである打痕に対して、中部電力は、発生防止や早期検知等に関する対策として、ベローズ取付け確認への中部電力社員立会いや現場手順の改善、作業員等に対する教育、定期的なベローズ取付け部の外観点検などを挙げているほか、ベローズが破損した場合の復旧対策として予備品の配備や取替手順の整備を実施するとしており、こうした対策は本事象の再発防止及び早期復旧に一定の効果があると考えられる。ただし、中部電力は、中部電力社員の立会項目や現場手順の改訂内容、作業員に対する教育内容など再発防止対策の具体的内容を報告の中で示していないことから、中部電力は、これらの具体策を早急に検討し、効果のある取組を着実に実施する必要がある。

加えて、中部電力は、本事象を教訓に、他号機のD/Gなど同様の事象が生じるおそれのある安全上重要な設備を抽出し、必要な予防処置を講じることが必要である。

4. 今後の対応

中部電力が行うこととしている再発防止対策及び予防処置の実施状況について、原子力規制委員会は、今後、検査官による通常の監視に加え、保安検査においても確認していくこととする。また、事象発生メカニズムの解明について、必要に応じて原子力規制庁にてフォローしていく。

5. I N E S（国際原子力・放射線事象評価尺度）評価

当該事故・故障等に係る I N E S 評価について、以下のとおり確定する。

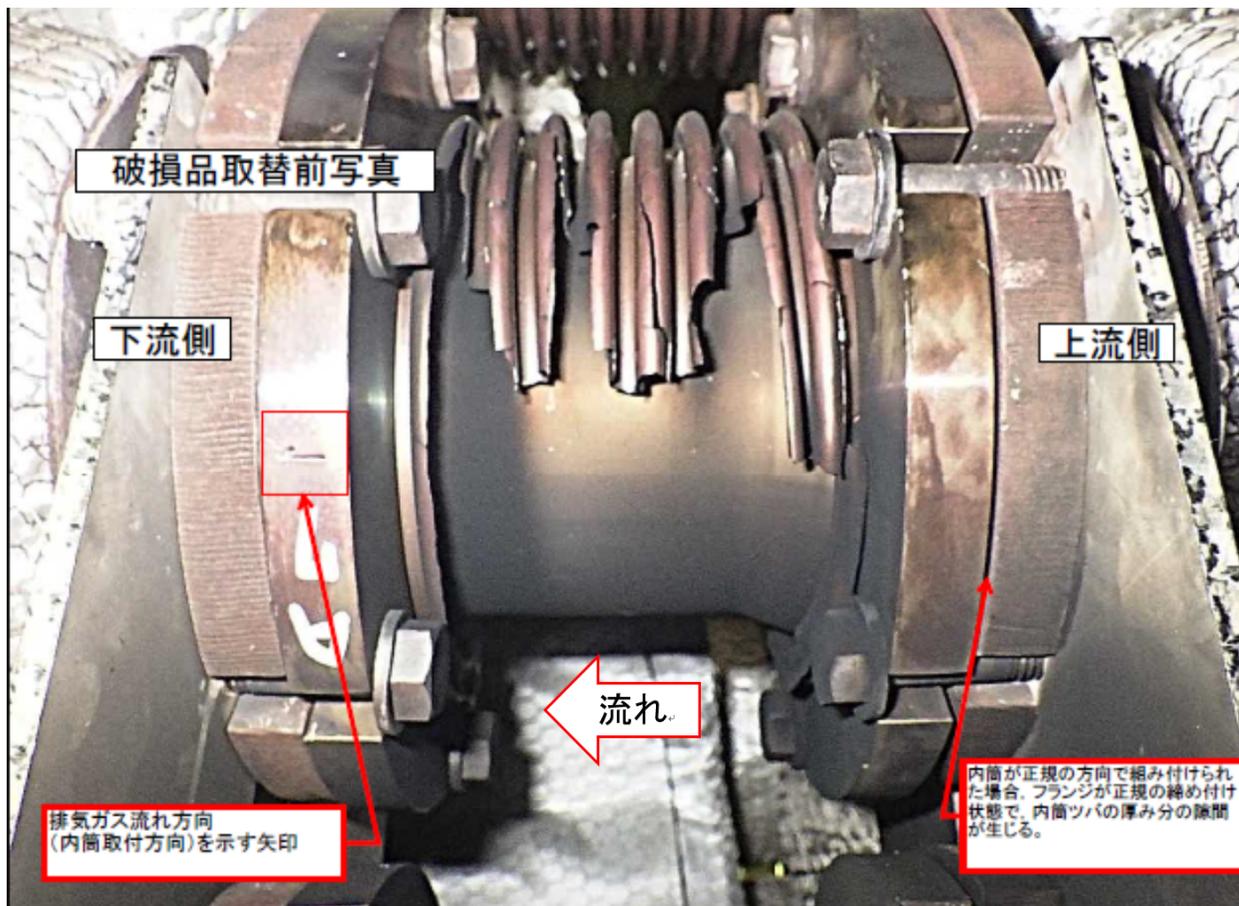
最終評価：0

判断根拠： 本件は、定期検査中で全燃料が原子炉内から取出された状態で、定期試験中にD/G（B）のベローズ破損による排気漏えいを確認後、点検のため待機除外として運転上の制限を逸脱し、その後の調査により消耗品の交換や機器の調整により復旧できないことが確認された事象。

人と環境への影響、施設における放射線バリアと管理への影響については、放射性物質の放出、被ばくはない。

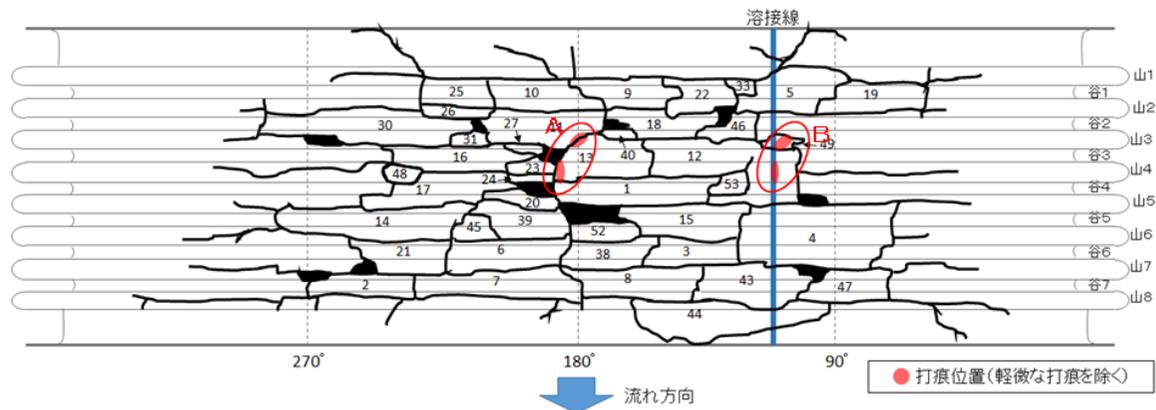
深層防護については、外部電源は確保され、他のD/G 1台が動作可能で必要な安全機能となる設備への電源供給が可能であり、かつ、安全機能の代替手段もあることから、原子炉施設の安全に影響を与えない事象であるため、I N E S レベル0の「安全上重要でない事象」と評価する。

ベローズ破損時の現場状況

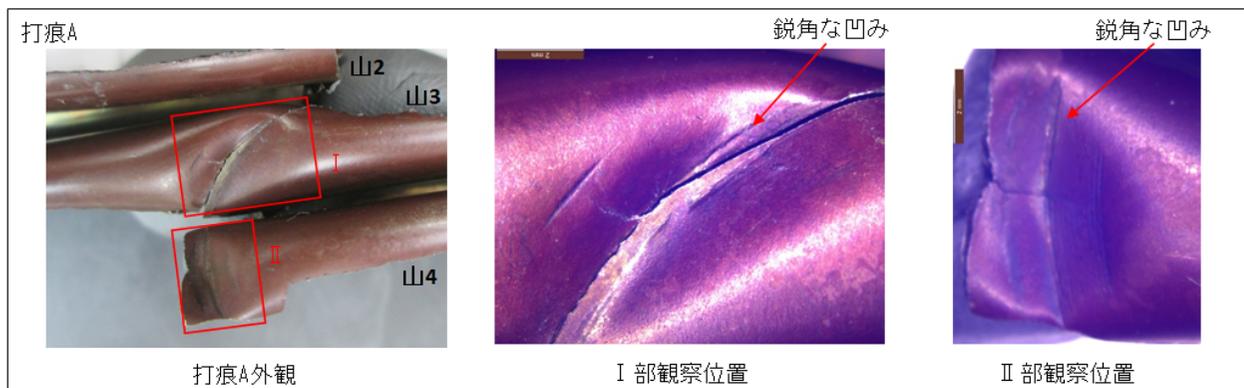
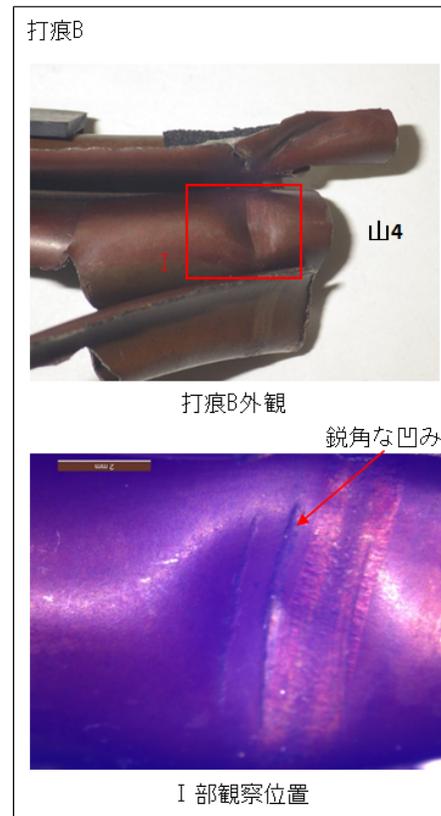


平成 30 年 11 月 28 日に中部電力が提出した報告書から抜粋

ベローズ全体の外観観察結果 (打痕部)



※本スケッチにおいて、各破片に認められた変形は反映されていない
※微細な破片や変形が大きく破片復元作業が困難であった破片(計12個)は本復元図に含まれていない



平成 30 年 11 月 28 日に中部電力が提出した報告書から抜粋