# PRAにおける機器故障情報の収集について

2023年４月20日

原子力エネルギー協議会
電力中央研究所原子力リスク研究センター（NRRC）


Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

# 1．はじめに



✓ 2023年１月31日の第57回技術情報検討会において、原子力規制庁より「PRA に用いる非常用ディーゼル発電機の故障率について（案）」が報告され、以下について事業者の考え方を聴取することとされた。

【技術情報検討会資料より】
事業者がPRA に用いるEDG の故障を抽出する際に、EDG が要求された時間その機能を果たせるかの評価を行っているか、行っていない場合はその理由、EDG が機能を果たすべき要求時間等について事業者の考え方を聴取することとしたい。


Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

# 2．事業者の対応について



- ✓ 2018年度から2019年度にかけて、事業者は電力中央研究所原子力リスク研究センター（以下「NRRC」という。） の**「確率論的リスク評価（PRA）のための機器信頼性データ収集実施ガイド」**（以下「収集ガイド」という。）（案）に基づき、発電所の不具合事象等のデータソースから**2004年度～2010年度の機器故障情報を収集**した。

- ✓ **2021年９月、**NRRCは事業者が収集した機器故障情報を**「国内原子力発電所のPRA用一般機器信頼性パラメータの推定」**として報告書（以下「パラメータ推定報告書」という。）に取りまとめ、公開した※。

- ✓ 事業者は、**使命時間において要求される機能を満足するかという観点も考慮して2004年度～2010年度の機器故障情報を収集**しており、その**考え方は米国と同様**である。

- ✓ 当時、収集ガイド（案）には使命時間において要求される機能を満足するかという観点は明記していなかったものの、**収集ガイド（案）を作成する中でNRRCから事業者に対して米国のガイド・標準を示した上で、使命時間を考慮することを説明し、認識を共有**している（詳細はスライド３～７参照）。

- ✓ また、事業者は収集ガイド（案）に基づき、**機器故障情報から除外した不具合について除外した理由等を記録**している。

※ 報告書の内容は、NRRC所長（George. Apostolakis氏）及び顧問（Richard A.Meserve氏）にも確認いただいている。



Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

# 【参考】収集ガイド策定とデータ収集・故障率推定のプロセス



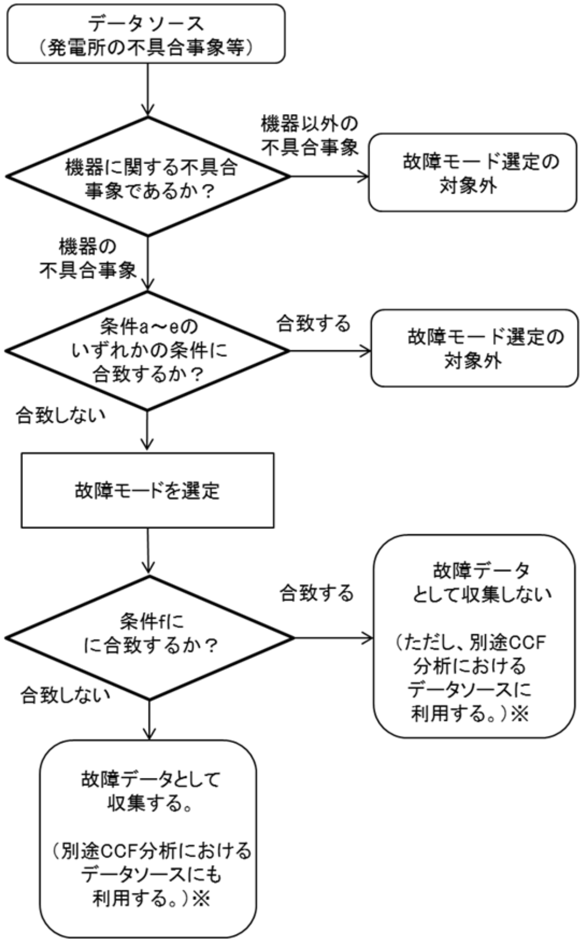
| 年度 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 収集ガイド策定<br>実施主体:NRRC | 電中研/JANTI/JANSI手法、米国EPRIガイド、ASME標準、国内機器仕様・運用に基づくガイド案の作成 | ▲<br>・NRRC技術諮問委員会委員長による収集ガイド（案）レビュー<br>・NRRC技術諮問委員会による収集ガイド（案）レビュー&レター<br>（詳細はスライド７参照） | | | 収集ガイド報告書編集作業<br>（技術要件の変更はなし） | | ▲<br>収集ガイド発行 |
| データ収集<br>実施主体:<br>事業者/NRRC<br>対象期間:<br>2004-2010年度 | ▲ ▲ ▲ ▲ ▲ ▲ ▲ ▲ ▲ ▲ ▲ ▲ ▲<br>事業者等とNRRCでデータ収集技術要件(判定基準・対象機器等)を議論<br>▲ ▲<br>NRRC<br>収集ガイド（案）<br>説明会<br>（詳細はスライド６参照）<br>事業者<br>データ収集試行<br>＆NRRCレビュー | 事業者<br>データ収集範囲検討<br>事業者<br>データ収集 | | | | | |
| 故障率推定<br>実施主体:NRRC | | | 推定手法<br>検討<br>▲▲<br>故障率<br>試評価 | パラメータ推定報告書作成<br>▲<br>故障率推定結果(確定値)を事業者に提供<br>▲<br>NRRC所長・顧問説明 | ▲パラメータ推定報告書発行 | | |

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

# 【参考】収集ガイド（案）検討時の議論（1/4）

✓ **<u>2018年度から2019年度にかけて機器故障情報を収集した当時、米国のガイド・標準を参照</u>**して機器故障情報収集の要点を日本の収集ガイド（案）に整理した。

## 【データ収集フロー】




条件a)「データ収集対象機器のバウンダリ外の不具合」である。

条件b)「運転員誤操作（保修員による代行操作含む）が原因の不具合」である。

条件c)「評価対象期間外の不具合」である。

条件d)「外的要因が原因の不具合」である。

条件e)「附属書Aの故障モード以外の機能の不具合」である。

条件f)「データ収集対象機器の完全な機能喪失でないもの（劣化、予兆、再現性のない一過性の不具合事象）」である。

※CCF分析については別途定めるCCF判定ガイドに基づき評価する

収集ガイド（案）本文の条件ｆに係る記述はスライド５参照



Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

# 【参考】収集ガイド（案）検討時の議論（2/4）



✓ 収集ガイド（案）には**「劣化であっても要求された時間に照らして機能喪失するかという観点」という記載はなかった**ものの、**事業者に米国のガイド・標準を示して考え方を説明し、認識を共有**していた。

| ＜米国のガイド・標準＞ | ＜日本の当時の収集ガイド（案）の記述＞ |
|---|---|
| –EPRI TR-100381 Nuclear Plant Reliability: Data Collection and Usage Guide (1992)<br><br>–NUREG/CR-6823 Handbook of Parameter Estimation for Probabilistic Risk Assessment (2003)<br><br>**“・・・PRAに用いる故障は完全な機能喪失だけでなく、劣化であってもこれを外挿し、要求された時間に照らして機能喪失するかという観点から決めることがある。・・・”**<br><br>–ASME/ANS RA-Sa-2009 Addenda To ASME RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications | (8)「条件*f*：データ収集対象機器の完全な機能喪失でない不具合（劣化、予兆、再現性のない不具合事象）」<br><br>「完全な機能喪失」には、使命時間が定義されている場合はその使命時間まで機能維持することができないことも含まれていることを事業者に説明し、認識を共有していた。<br><br>データ収集対象機器の機能の喪失が限定的または一過性のものであり、データ収集対象機器の機能が完全には失われていないと判断できる場合、当該不具合は、故障データ収集の対象外とする。<br>＜中略＞<br><br>なお、保守管理の観点で機器の要求機能が喪失していると判断しても、「PRA上で当該機器に要求される機能」が満足できていれば、PRAの故障モードは発生していない(故障状態ではない)と判断する。 |

「『要求される機能』が満足」には、使命時間が定義されている場合は少なくともその使命時間は機能維持できることも含まれていることを事業者に説明し、認識を共有していた。

ATENA Atomic Energy Association

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

# 【参考】収集ガイド（案）検討時の議論（3/4）



✓ 2017年度に事業者向けに収集ガイド（案）説明会を開催し、「故障判定演習」にて、**使命時間の考え方を説明**した。

【説明会資料抜粋（判定の考え方と例示）】

Nuclear Risk Research Center

## 故障判定/分類作業における各部門の観点

- 故障判定/分類作業における主な観点と役割
  - ◆ PRA所管部門で、PRAモデルの基事象などを基に、評価するPRA対象機器の特定、管理されている保全対象機器を紐付け
  - ◆不具合事象の発生時
  - ➢ 保全所管部門
    - 故障機器/設備の特定、故障モードの選定
  - ➢ PRA所管部門
    - 故障発生箇所(及び事象発生原因)の詳細確認（発生箇所の機器バウンダリ内外、人的過誤影響 等）
    - 故障モード (劣化/機能維持判断は保全所管部門と連携)(機能の維持性能(使命時間の維持等)、PRAにおける性能要求の確認（モデルの基事象で要求されるか等））

**通番 9741　2008-東京-M005**
**福島第一発電所3号**
**非常用ディーゼル発電機の不具合による運転上の制限からの逸脱について**

- 故障判定
  - ➢ 故障機器：非常用ディーゼル発電機
    故障モード：起動失敗
  - ➢ 故障員数「1」
  - ➢ 分類説明「運転中の定例試験のため非常用ディーゼル発電機を1台運転したところ、当該非常用ディーゼル発電機に18個あるシリンダーのうちの1個について、シリンダーカバーが変形して煙が発生したため、当該非常用ディーゼル発電機の運転を停止。D/G室にも白煙が充満し、運転継続は困難と判断して機能失敗とする。」
- 判定時のポイント「PRAの要求機能が使命時間の間に維持できるか」
  - ✓ 残り17個のシリンダによって、D/Gの運転自体は事故時には継続はすると考えられる
  - ✓白煙が充満する状態で、どこまで運転は継続可能かを検討
  - ✓結果、24時間の使命時間内では室内の空気環境が悪化し、現場に人間がいることが困難になる、操作盤にも影響が出る事、火災報知機が発報した状態であることにより、運転の継続は困難と判断

**通番 1874　1997-中部-M001**
**浜岡発電所1号**
**ディーゼル発電機(B)潤滑油圧力調整弁の不具合について**

- 故障判定
  - ➢ 故障機器：非常用ディーゼル発電機
    故障モード：無し
  - ➢ 故障員数「0」
  - ➢ 分類説明「圧力調整弁のピストン部Oリング部からの微少(外部)リークであり漏洩量から機能上問題無しと判断する。(プライミングポンプは間欠運転を行っており、この潤滑油系統は定期的に運転状態にある。この状態における微少なリークである)」
- 判定時のポイント「機能低下か機能喪失か」
  - ✓ 油のにじみ程度の微小リークにより使命時間の運転は可能と判断し、「機能上問題無し」と分類する。

# 【参考】収集ガイド（案）検討時の議論（4/4）



✓ 収集ガイド（案）は、**NRRC技術諮問委員会**（TAC： Technical Advisory Committee）※**によるレビューでも適切であると評価**されている。

**【収集ガイド（案）に対するTAC Letter（2018年6月11付）の評価】**

“現在のガイダンスの範囲は、機器故障率を導出するために必要となるプラント運転経験の収集を網羅している。個別プラントデータの収集記録を文書化するフォーマットは、機器の状態や、個々の事象の分類根拠、及び関連する運転露出データと試験露出データの導出に関して、それらの判断過程をたどることができるようになっており、これは国際標準的な（state of the practice）方法と合致している。”

**※NRRC技術諮問委員会** （年2回開催 –各1週間程度– ）

**【概要と役割】**

技術諮問委員会は、原子力発電所の安全性、リスク評価、過酷な自然事象のハザード評価、リスク情報を活用した意思決定の分野における国際的権威の専門家で構成される。
NRRCの研究計画及び成果の全てが最高水準の技術レベルのものになるよう、独立な立場で確認・評価を行い、助言を与える。

**【委員】**

| | |
|---|---|
| John W. Stetkar（委員長） | 米国ＮＲＣ　原子炉安全諮問委員会（ＡＣＲＳ）元委員 |
| Amir Afzali | サザン・ニュークリア・オペレーティング・カンパニー　次世代原子炉許認可担当役員 |
| Nilesh Chokshi | 元ＮＲＣ規制局エンジニアリング部門　副部門長 |
| Jean-Marc Miraucourt | 元フランス電力会社　エンジニアリング・原子力新設プロジェクト部門　技術・産業担当執行役員 |
| 高田毅士 | 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（JAEA）安全研究・防災支援部門 リスク情報活用推進室　室長 |
| 山口彰 | 公益財団法人原子力安全研究協会（NSRA）理事 |



Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

# ３．今後の対応について



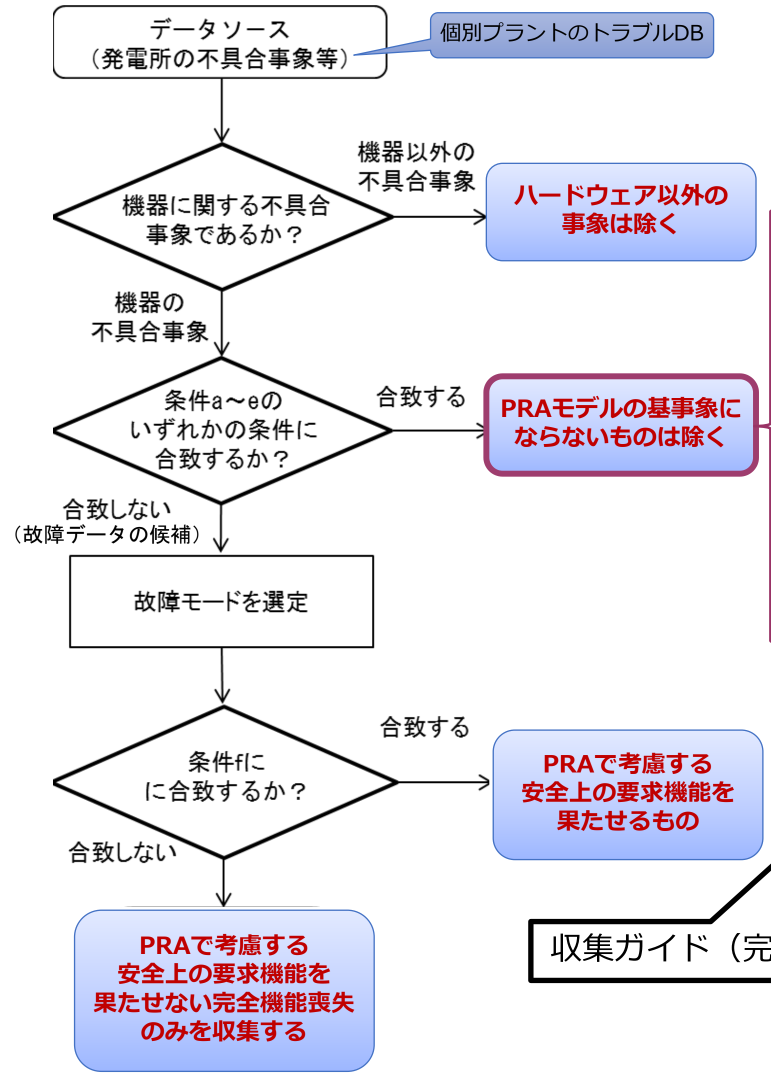
- ✓ 収集ガイドに、**使命時間経過時に要求機能を発揮できているかどうかという観点での判断基準を明記した**。（具体的な記載についてはスライド10参照。）
- ✓ 収集ガイドは最終編集を行っており、**2023年5月に発行**する予定。
- ✓ 事業者は、2011年度以降の機器故障情報についても収集ガイド（案）に基づいて収集しており、その情報を用いて**NRRCが適切な時期に故障率の推定を更新し、結果を報告書として発刊**する。


Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

# 【参考】収集ガイド完成版のイメージ（1/2）

✓ 2019年度までの機器故障情報収集作業以降も**収集ガイドの記載を適正化**している。

## 【データ収集フロー】




**プラント内の不具合事象から PRAに不要な事象（条件*a-f*）を除いていくプロセス**

対象機器と機器バウンダリ・故障モードを定義

条件*a* ：データ収集対象機器のバウンダリ外の不具合
[**機能喪失してもプラントリスクに一切寄与しない事象**]

条件*b* ：運転時誤操作が原因の不具合（保修員による代行操作含む）
[**人間信頼性評価で別途考慮する事象**]

条件*c* ：評価対象期間外の不具合
[**安全確保のための機能要求がされてない期間の事象**]

条件*d* ：外的要因（地震、津波、内部火災/溢水）が原因の不具合
[**外的要因のリスク評価の際に別途考慮する事象**]

条件*e* ：安全上要求される機能以外の機能の不具合
[**安全確保のために必要とされていない機能の喪失事象**]

条件*f* ：データ収集対象機器の完全な機能喪失でないもの
（劣化、予兆、再現性のない一過性の不具合事象）

収集ガイド（完成版）本文の条件 f に係る記述はスライド10参照。

# 【参考】収集ガイド完成版の記述（2/2）



✓ 2019年度までの機器故障情報収集作業以降の収集ガイドの記載適正化に加え、**今回、使命時間経過時に要求機能を発揮できているかどうかという観点での判断基準を明記**した（朱字下線部）。

| 当時の記述 | 完成版の記述 |
|---|---|
| (8)「条件*f*：データ収集対象機器の完全な機能喪失でない不具合（劣化、予兆、再現性のない不具合事象）」<br><br><中略><br><br>データ収集対象機器の機能の喪失が限定的または一過性のものであり、データ収集対象機器の機能が完全には失われていないと判断できる場合、当該不具合は、故障データ収集の対象外とする。<br><br><中略><br><br>なお、保守管理の観点で機器の要求機能が喪失していると判断しても、「PRA上で当該機器に要求される機能」が満足できていれば、PRAの故障モードは発生していない(故障状態ではない)と判断する。 | (8)「条件*f*：データ収集対象機器の完全な機能喪失でない不具合（劣化、予兆、再現性のない不具合事象）」を除外<br><br><中略><br><br>・完全機能喪失：PRAにおいて当該機器に対して定義されている要求機能が発揮されず**（使命時間が定義されている場合はその使命時間まで機能維持することができず）**、成功基準が満たせない状態。<br><br><中略><br><br>機器に劣化や予兆が疑われる状態がみられても、当該機器に要求されている安全機能が発揮できる**（使命時間が定義されている場合は少なくともその使命時間は機能維持できる）**と判断される場合は、「完全な機能喪失」ではないので、PRA用故障データの対象とはしない。 |



Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

# ４．機器故障情報の収集例



- 機器故障情報の収集例として、**試験中に不具合により設備保護等の観点から停止した例（柏崎刈羽６号機及び浜岡５号機における非常用ディーゼル発電機24時間運転試験）**について、**「PRAにおける機器故障」として整理するべきか判定**を実施した。

- いずれも**EDGの使命時間※において機能を満足**しており、**「PRAにおいて要求される機能を果たせない事象」ではないことから、「PRAにおける機器故障」として収集しない不具合事象に該当**すると判断した。
  （詳細評価内容については次項参照）

※PRAのための機器故障情報収集においては、内的事象レベル1PRAモデルの使命時間（基本的には24時間）を考慮し、データを収集している。

ATENA
Atomic Energy Association

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

# 【参考】機器故障情報の収集例（柏崎刈羽６号機EDG不具合の例）（1/2）



## 【事象概要】

✓ 定格出力運転到達から<u>**約８時間後に軸受部から潤滑油が漏えい**</u>した。

✓ <u>**各パラメータ（発電機出力等）に異常は確認されなかった**</u>が、潤滑油の飛散（危険物漏えい）防止の観点から試験を中断した。

## 【判定の考え方】

✓ 油漏えい発生～EDG停止までの時間は約2時間。その間の漏出量は保守的に試算して約360ccであり、<u>**24時間の漏出量を評価すると約4.3L**</u>。また、EDG停止後の分解点検結果より、油漏出はOリングの破断によるものであり、他部品に異常がなかったため、Oリング破断以外の漏えい拡大要因は認められないことから、事象の進展性はないと評価（詳細はスライド13参照）。

✓ <u>**潤滑油系統が機能喪失する漏えい量を保守的に算出したところ，約1,250L**</u>であり、<u>**今回の事象は、EDGの使命時間において機能を満足**</u>すると評価。

<u>**⇒「PRAにおいて要求される機能を果たせない事象」ではない**</u>。

«参考»
•当該油は身体に触れても健康の危険はなく、DG室内は過度に油が揮発し作業員が油を吸引するような環境ではないことから、人身リスクを増加させるものではない。
•運転DG周辺に可燃物仮置きがなく、また、空調設備による換気を行うことで、火災発生リスクが高くならない現場管理の上でDGを運転。
•機能喪失する油量約1,250L＝DG機関（オイルパン）油量約600L＋補給タンク内油量約650L
※保守的にオイルパン油量は補給タンクからの補給直前の油量，補給タンク内油量は保安規定制限値を採用

## 【判断結果】

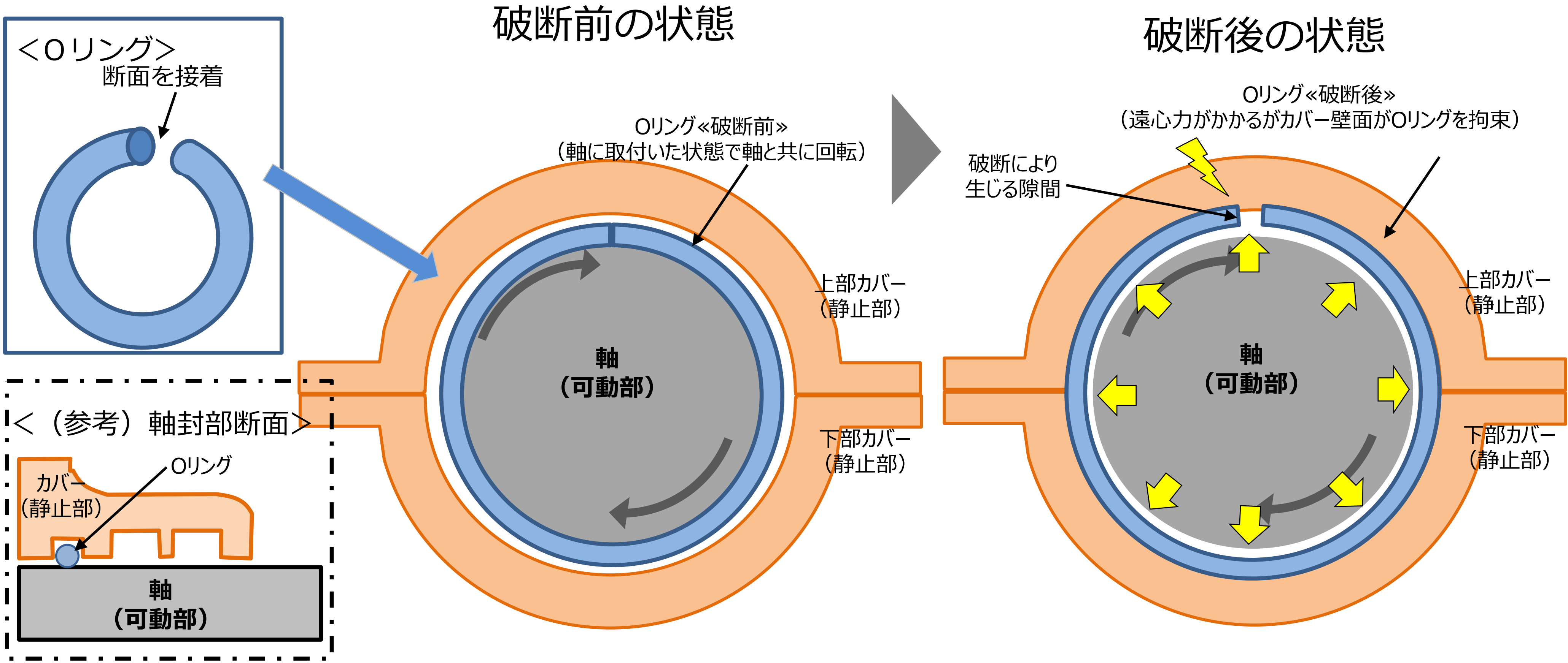
✓ <u>**「PRAにおける機器故障」として収集しない不具合事象に該当**</u>すると判断。


Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

# 【参考】機器故障情報の収集例（柏崎刈羽６号機EDG不具合の例）(2/2)



- Oリングは断面を接着し軸に取り付ける工法を採用。
- 軸封部からの油漏れはこの接合面にてOリングが破断したことにより生じたものと推定。
- 破断したOリングは遠心力でカバー壁面に留まるが，接合面の破断により新たに隙間が生じる。
- Oリング破断後はDG運転に伴う遠心力（一定）が継続して生じるが，カバーの内壁がOリングを拘束するため，事象の進展性はないものと評価。






Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

# 【参考】機器故障情報の収集例（浜岡５号機EDG不具合の例）



**【事象概要】**

- ✓ 定格出力運転到達から**約3時間後に排気管伸縮継手の破損を確認**した。
- ✓ **各パラメータ（発電機出力等）に異常は確認されなかった**が、設備保護の観点から試験を中断した。

**【判定の考え方】**

**排気管伸縮継手１台が全周破損した場合においても、以下のD/G機能を満足**すると評価（報告書「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ついて(H30.11.28補正NRA提出)」より）していることから、**今回の事象は、EDGの使命時間において機能を満足**すると評価。

・定格出力の維持　・定格回転数の維持　・発電機電圧確立までの時間
・燃料使用量の上限　・燃料貯蔵量7日間の確保　・負荷変動時の周波数および電圧の維持
・作業環境への影響(消防服等の着用により室内作業可能)

**⇒「PRAにおいて要求される機能を果たせない事象」ではない。**

**【判断結果】**

- ✓ **「PRAにおける機器故障」として収集しない不具合事象に該当**すると判断。



Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.