

## PRA に用いる機器故障率のためのデータ収集について

令和 6 年 1 月 2 5 日  
検査監督総括課  
シビアアクシデント研究部門

### 1. はじめに

確率論的リスク評価（以下「PRA」という。）を実施する際、プラントを構成し、事故の起因となる機器の故障確率（以下「機器故障率」という。）が入力値となる。この機器故障率は、これまで事業者等によって故障実績が収集され、データ集としてまとめられてきた。最近では、一般財団法人電力中央研究所（以下「電中研」という。）が事業者とともに故障実績の収集方法及び機器故障率のデータ集を整備してきた。

令和 3 年 9 月に電中研及び事業者がまとめた機器故障率のデータ集「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（令和 3 年 9 月）」（以下「データ集」という。）が公開され、そこに故障実績の収集方法が記載されていたことから、原子力規制庁（以下「規制庁」という。）において内容を確認したところ、収集対象となる故障として「完全機能故障」のみが対象とされ、当初は所定の安全機能を発揮した機器であっても、時間の経過とともに劣化が拡大し、使命時間（安全機能を有する機器が動作を継続しなければならない時間）内に機能喪失に至りうるような故障事例が、収集対象とならないおそれがあることがわかった（米国では収集されている）。

令和 5 年 1 月 31 日の第 57 回技術情報検討会において、規制庁は本件について説明し、電中研及び事業者による故障実績の収集が実態よりも過小になる可能性があることを報告した。その際、米国における故障実績の収集実態について、規制庁において調査すべきであるとの意見があった。

その後、電中研による故障実績の収集方法が「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。）として、令和 5 年 5 月に公表された（添付 1 参照）。

今般、規制庁はこの収集ガイドの内容を確認し、気付き事項を電中研に提示したところ、令和 5 年 9 月 28 日の面談で回答を得たことから（添付 2 参照）、その概要及び当該回答に対する規制庁の見解と今後の対応について報告する。

## 2. 電中研が公表した収集ガイドの特徴<sup>1</sup>

電中研は、以下の点に留意し、収集ガイドを作成したとしている。

○機器母集団は、従来は許認可図面の機器から抽出して構成したが、収集ガイドでは、各プラントの PRA モデル用系統図の機器から構成する。

○故障件数は、従来は原子力施設情報公開ライブラリー（NUCIA）の登録情報から抽出したが、収集ガイドでは、品質マネジメントシステムにおける機器の不適合情報から抽出する。

○起動デマンド数や機器運転時間<sup>2</sup>は、従来は1サイクル分<sup>3</sup>に年数を乗じる概算であったが、収集ガイドでは、プラント内の情報から直接収集する。

なお、令和5年4月20日に実施した規制庁と原子力エネルギー協議会及び電中研との面談において電中研は、事業者に故障実績の収集方法を説明する際には、使命時間中に要求される機能を満足するかどうかも考慮して故障を判断する旨伝えていたとし、令和5年5月発行予定（面談当時）のデータ収集ガイドにその判断基準も追記すると説明した。

規制庁は、令和5年5月に公開されたデータ収集ガイドにおいて、使命時間中に機能維持ができない場合は故障と判断する旨の記載があることを確認した。

## 3. 収集ガイドの規定に対する規制庁と電中研及び事業者とのやりとり

規制庁からは10の気付き事項を提示したが、そのうち重要な項目は以下の3. 1～3. 5に示す5項目である。この5項目以外は、記載の適正化に関するもの等であり、各事業者が回答の方針に沿って対処していくことを今後面談等で確認する。

### 3. 1 モデル化されていない故障モードのデータの未収集 (ガイドの規定)<sup>4</sup>

ある機器で内部リーク等の不具合があっても、当該 PRA でそれをモデル化していない場合、データ収集は不要である。【3.2.3(6)】  
(規制庁の気付き事項)

現在の事業者の PRA モデルでは、ある故障モードが発生しても、系統上安全機能の喪失に至らない場合は不要として、当該故障が必ずしもモデル化されていないことがある。しかし、本来、機器故障そのものは、プラント毎の PRA モデ

<sup>1</sup> 第8回検査制度に関する意見交換会合(令和4年3月29日)資料 1-5「国内原子力発電所の一般機器故障率の推定 (PRA用原子力機器信頼性パラメータの整備) 一般財団法人電力中央研究所」に基づく。

<sup>2</sup> 起動デマンド数とは安全機能要求が発動した回数であり、機器運転時間とは機器が供用されている時間をいう。

<sup>3</sup> 定期検査後に原子炉を起動し、再び定期検査に入るため停止するまでの間

<sup>4</sup> 【 】内は「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」の章の項目である。

ルの違いによって発生が左右されるものではなく、リスク情報の客観性を向上させるために網羅的に機器故障率を収集する観点からは、可能な限り全ての故障モードを収集対象とすべきである。

例えば、電動弁（海水）の作動失敗に関するデータ収集対象は27基であるが、外部リークの収集対象はこのうち8基のみである（添付3参照）。これは、個別プラントのモデル化の程度によりデータ収集の範囲が限定されたためと考えられる。その結果、電動弁（海水）の外部リーク率が過小評価されているおそれがある。

（電中研及び事業者の回答）

同じ電動弁の同じ規模のリークであっても、ある系統では機能喪失となり、別の系統では機能喪失にはならない場合がある。このような場合は、当該弁の運用方法も異なっており、機能喪失とはならなかった系統のリーク事象を故障としてカウントし、それを機能喪失した系統の信頼性評価に用いるのは適切ではない。

また電動弁（海水）の例では、27基の電動弁機器母集団の中から8基のみをリーク故障のカウント対象としていけば過小評価だが、8基でモデル化している電動弁（外部リーク）機器母集団の中から8基の外部リークを収集しているので問題はない。

ただし、PRAでモデル化されていない機器の故障データが活用できるかどうかは、今後、産業界内で収集方法を検討する。

（規制庁の対応方針）

PRAのモデル化の範囲に左右されない故障データの採取方法を事業者が検討し、それをガイドに反映するとともに、改訂されたガイドによる網羅的なデータ収集を行うよう要請する。

### 3. 2 不明確な人的過誤の扱い

（ガイドの規定）

運転時誤操作による機器の機能喪失事象は、PRA上は人間信頼性解析で別途モデル化するため、故障実績としてのデータ収集は不要である。【3.2.3(3)】

（規制庁の気付き事項）

日本原子力学会のPRAデータ収集に係る民間規格<sup>5</sup>（以下「実施基準」という。）では、「試験又は保守後の人的過誤及び計器の校正ミスから生じる故障が、系統のモデルに明示的に含まれている場合は、このような人的過誤は機器のハードウェアの故障原因に含めるべきでない。（略）しかし、PRAモデルの中にこのような人的過誤が明示的に含まれていない場合もある。そのときには、人的過誤に

<sup>5</sup> 日本原子力学会標準 原子力発電所の確率論的リスク評価用のパラメータ推定に関する実施基準：2015（AESJ SC RK001:2015）

よる寄与を該当する機器故障率又は確率に含めるべきである。」という記載があるが、収集ガイドでは、そのようになっていない。

また、非常用ディーゼル発電機（以下「DG」という。）の機器バウンダリ内のインジケータコック弁<sup>6</sup>を運転員が閉め忘れた事例を当該 DG の所有事業者は、誤操作が原因の不具合のため故障から除外していた。そこで規制庁は、モデル化されていない人的過誤は機器故障とすべきとコメントしたところ、個別プラントの PRA でモデル化する旨の回答があった。

しかし、このような人的過誤は機器故障率に含めた方が、モデル化は容易であり、プラント毎の PRA モデルの違いに左右されずに機器故障データを収集できる。データ収集の可否を後段の PRA モデルに依存する形で運用することは PRA データの均一性が損なわれるおそれがある。

（電中研及び事業者の回答）

実施基準の当該記載は、「起因事象発生前の人的過誤」についての記載であり、収集ガイドも「起因事象発生前の人的過誤」を故障データの収集対象としているため、実施基準と矛盾していない。

DG のインジケータコック弁閉め忘れの事例について、当該 DG の所有事業者は、PRA モデル上、定期試験時等での運転員による人的過誤は、設備本体の弁操作であっても運転員が手順に従い操作する弁であれば、人的過誤として考慮する対象とし、機器故障のカウントはしないとしている。

今後、人的過誤による機器故障の事例は、PRA の事故シーケンスを構成するかどうかを検討し、事故シーケンスを構成する場合は、全体のリスクへの有意な影響の有無を判断し、影響があれば、人的過誤でモデル化するか機器故障で考慮する。また、影響が小さくモデル化しなかった場合は、その理由を明文化して残すことを検討中である。

（規制庁の対応方針）

DG のインジケータコック弁閉め忘れ事例は「起因事象発生前の人的過誤」であり、当該 DG を有する事業者の回答は、収集ガイドの考え方と異なっている。また別の事業者もタービン動補助給水ポンプの定期起動試験前点検時（起因事象発生前に相当）に運転員が誤って弁のハンドルに接触し、その後当該試験に失敗した事例を誤操作が原因の不具合のため機器故障から除外したと回答している。（PRA 上、人的過誤としてモデル化されていない）。

以上のことから、収集ガイドの意図が適切に伝わるようにガイドを改訂し、これを周知することを要請する。

---

<sup>6</sup>シリンダ毎に設置されており、起動前の準備として、シリンダ内に溜まったガスを排出するために使用する。運転中及び待機中は閉とするが、起動前及びターニングの際には弁を開けてシリンダ内のガスを排出する。

### 3. 3 営業運転開始前データの未収集

(ガイドの規定)

データ収集期間を営業運転開始以降とする。【3. 2. 2】

(規制庁の気付き事項)

収集ガイドでは、データ収集期間として「保安規定などで機能が要求されている期間」も記載されているが、営業運転開始の起点は、機器に要求されるオペラビリティと技術的に無関係なため、営業運転開始前であっても、保安規定の適用期間中に機能要求を満たさなければ、故障とすべきである。

事業者は、試運転期間中（建設段階）の DG の定例試験での LCO 逸脱事例を営業運転開始以前のため、故障としていないが、これは原子炉起動後 100%電気出力に到達した日から約 1 ヶ月後に発生したものであり、通常運転時と同じプラント状態であった。

(電中研及び事業者の回答)

機器故障の収集期間は、通常安定した運転状態における機器の故障を取り扱うため、「試運転期間」という非常に特殊な運転モードを除き、営業運転開始以降の故障を収集している。

当該 DG の故障原因は、メーカーの製作時のボルト締め付けが不十分であったためであり、製作後の DG の初期故障であることから、通常状態の故障とすべきではない。

収集ガイドの記載は「営業運転開始以降に保安規定などで機能が要求されている期間…」へと次回改訂する。

(規制庁の対応方針)

当該 DG の事例の原因は保守不良であり、同様の故障は既設プラントでも発生していることを踏まえれば、試運転特有の故障とは言えないことから、建設段階の試運転時であっても、保安規定などで機能が要求されている期間中は故障とするとともに、既設プラントにおける設備の新設、改造時にあっては、営業運転開始の時期にかかわらず、当該設備に係る最終の使用前事業者検査合格後の不具合は、故障とするようガイドを改訂し、周知することを要請する。

### 3. 4 起動失敗と継続運転失敗の分かりにくい定義

(ガイドの規定)

DG の起動失敗を「要求時に起動しないか、起動直後に自動停止する故障及び手動停止する必要がある故障」と定義し、それを直接判断できるものとして「遮断器投入後、基準を要求時間<sup>7</sup>内に負荷が確立できない(確立しなかった)場合」とし、継続運転失敗はそれ以外としている。【3. 2. 3(7)、附録表 A】

(規制庁の気付き事項)

<sup>7</sup> 事業者の設置(変更)許可申請書に記載されている非常用ディーゼル発電機が信号を受け起動し、電圧を確立するまでの時間

電中研及び事業者は DG のガバナの応答性の低下により 1 分以内に過速度トリップに至った事例<sup>8</sup>を「起動失敗」とせずに「継続運転失敗」としており、「起動失敗」と「継続運転失敗」の分類が困難な定義となっている。

「起動失敗」の考え方については、米国では起動後 1 時間以内に生じた故障とし、国内の実施基準では起動後 30 分間程度までに生じた故障としているが、どのような理由で、冒頭の定義としたかについての理由が明示的に記載されていない。

（電中研及び事業者の回答）

ガバナ不良による故障は、NUCIA と事業者情報から、電圧確立「後」に運転継続した後に停止したので継続運転失敗と判断したものである。

米国では起動失敗、起動後 1 時間以内の継続運転失敗及び起動後 1 時間以降の継続運転失敗の 3 つに分けており、起動後 1 時間以内の故障は起動失敗ではない。起動後 1 時間を境に故障率が変わるため継続運転失敗を 2 つに分けたとしている。我が国にはそのような知見がないため、今後はデータを蓄積したうえで、その可否を検討する。なお、国内の実施基準の分類は技術的根拠が乏しいことから使っていない。

（規制庁の対応方針）

事業者の PRA モデルでは国内に十分な知見が無くとも、人的過誤値の計算などで既に米国の知見を幅広く採用しているほか、国内でも DG の 24 時間運転により長時間の運転データも蓄積されている。

以上のことから、米国の知見と長時間運転データを活用して起動失敗と継続運転失敗の分類基準を明確にするよう要請する。

### 3. 5 外的要因による故障の未考慮のおそれ

（ガイドの規定）

機器の不具合の原因が、外的事象 PRA で対象とするハザードの場合は、データ収集は不要である。【3.2.3(5)】

（規制庁の気付き事項）

外的事象 PRA の評価手法はまだ整備中かつ完成時期が未定であるほか、対象範囲の詳細が明らかではないため、現時点において故障にカウントしないとすると、PRA による評価結果が過小評価となるおそれがある。

（電中研及び事業者の回答）

外的事象による一部の機器故障を機器故障データベースに含めただけでは当該事象によるリスク全体を評価できない。

しかし、不適合事例を基に故障を判定し、それらを内的事象、外的事象で選別し、見落としがないように記録を残してモデル化の可否の判定につなげるこ

<sup>8</sup> NUCIA に拠れば、工場調査の結果、正常なガバナは起動後 0.2 秒でエンジンの回転数が安定したが、不具合のあったガバナは 50 秒かかったとのことから、**要求基準**時間内に負荷が確立できていない可能性がある。

とは可能であり、事業者の相互レビューで共通の対応策を検討する。

(規制庁の対応方針)

外的事象に係る不適合事例を収集し、このような事例が漏れなく外部事象 PRA に含まれるように電中研の外部事象毎の PRA 実施ガイドに追記、公開するとともに、将来的には民間規格への反映を要請する。

#### 4. 米国における活動の調査

第 57 回技術情報検討会において調査の指示があった米国における故障実績の収集実態については、現時点の調査結果を以下のとおり報告する。

米国の事業者からの聞き取りによれば、米国原子力規制委員会（以下「NRC」という。）が規則によって要求するメンテナンス・ルール（10 CFR 50.65）に基づき、事業者は機器等のパフォーマンスや状態を監視している。プラントで何らかの不具合事象が発生すれば、事業者は 10 CFR 50.65 に基づくプロセスによって、自ら定めた性能の基準に照らして故障かどうかを判断している。故障と判断された事案は、事業者が米国原子力発電運転協会（以下「INPO」という。）の故障データベースに入力することになっており、この INPO の故障データベースは、PRA に用いるか否かに関係なく、広く故障データを蓄積しているとのことであった。

他方、NRC 及び米国アイダホ国立研究所によれば、両者は INPO の故障データベースや、NRC が事業者から受領した Licensee Event Report 等の情報を元に、PRA で用いるべき故障か否かについてのスクリーニングを実施し、そこで得られた故障データから平均機器故障率を算出している<sup>9</sup>。そのスクリーニングの際、各事業者の PRA のモデル化の範囲にかかわらず、広く収集された故障データベースを分析した上で、故障率を算出しているとのことであった。

また、PRA における機器故障の取扱いにおいては、単独で故障するものだけではなく、共通の要因により複数の機器が故障する共通要因故障が重要であり、この共通の要因としては、手順書の不備、環境要因等が考えられる<sup>10</sup>との考えが示された。

#### 5. 今後の対応

今回の確認により、故障判断が事業者の PRA での故障モードのモデル化に依

---

9 S.A. Eide et al., Industry-Average Performance for Components and Initiating Events at U.S. Commercial Nuclear Power Plants, U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-6928 (INL/EXT-06-11119), January 2007.  
10 A. Mosleh, et al., Guidelines on Modeling Common-Cause Failures in Probabilistic Risk Assessment, U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-5485 (INEEL/EXT-97-01327), June 1998.

存するなど、米国と異なり、人的過誤、外的要因等による不具合など共通要因故障の要因となり得るようなものも含め、故障実績が網羅的に収集されないおそれがあると考えられることから、以下のとおり対応を進めていく。

- 上記3. 1～3. 5の規制庁の対応方針に従って、電中研及び事業者に改善を要請する。その改善状況を確認して、意見の相違があれば議論していく。その状況は、必要に応じて技術情報検討会に報告する。
- 故障データの収集に関する論点は、電中研が作成するデータ収集ガイドだけでなく、故障データの収集及び PRA の実施主体である事業者にも共通の課題であることから、主要原子力施設設置者の原子力部門の責任者との意見交換会等も活用して、意見交換する。
- 現時点では、規制庁は電中研が公表した国内故障率に係る品質確保の方針を確認できないため、当面の間、原子力規制検査の検査指摘事項に対し定量的な重要度評価を行う場合は、事業者が作成する PRA モデルに米国の故障率を組み込んで算出した $\Delta$ CDF なども活用することを検討していく。

添付 1 電力中央研究所報告「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（2023 年 5 月）（抜粋）

添付 2 『電力中央研究所報告「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（2023 年 5 月）」に関する気付き』に対する産業界の回答と今後の改善活動（2023 年 9 月 28 日 電力中央研究所（NRRC）、原子力エネルギー協議会）

添付 3 電力中央研究所報告「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」（2021 年 9 月）（抜粋）



### 3.1.1 機器故障情報源の要件

PRA 用の機器故障情報としては、PRA 対象機器の機能要求期間における機能喪失事象の情報、すなわち、機器バウンダリ、機種・故障モード、機能喪失の具体的状況、などの情報が必要である。そのため、当該プラントの是正措置情報源から下記のような情報を調査するのが良い。

- 機能喪失発生プラント
- 機能喪失発生日時
- 機能喪失した機器の名称、系統名称、装置名称など
- 機能喪失の形態 (判断根拠を含む)
- その他機能喪失の詳細 (発生および対応の状況、原因分析・対応など是正措置内容)

利用できる情報源としては、以下の例が挙げられる。

- 運転日誌および運転報告書
- プラントの内部資料 (保守記録および機器履歴記録等)
- 事故速報および事故詳報並びにデータベース (NUCIA など)

必ずしも PRA の対象ではない機器の故障であっても、PRA 対象機器の信頼性評価に役立つと考えられる情報であれば利用してもよい。ただしそれらの情報では、機器バウンダリや故障モードが PRA 機器の定義と異なる場合があるので、PRA 用への変換や読み替えが必要である。

### 3.1.2 露出データに関する情報源の要件

PRA 用の運転経験情報としては、PRA 対象機器の母集団数、および露出データ (デマンド数、供用時間・運転時間) の情報が必要である。以下のような情報源を利用して露出データを収集する。

- 運転日誌
- 試験・検査記録
- プラントコンピュータに格納されている機器作動記録

また、正確な記録がない場合でも、機器試験手順、プラント運転手順などから露出データを合理的な推定ができる場合もある。例えば、定期試験において電動ポンプの起動・停止がある場合には、電動ポンプ起動失敗のデマンド数や運転時間を推定することができる。

### 3.1.3 機器信頼性データ収集期間

国内原子力プラント機器の現状の適切な信頼性水準を表す機器信頼性パラメータ (故障率/故障確率) を得るためには、当該機器の運用方法や保全方法、環境、性質が大きく変化しない (機器故障発生の可能性があまり変わらない) と考えられる範囲で、できる限り長い期間のデータを収集するべきである。

## 3.2 機器信頼性データ収集の方法と手順

PRA 対象機器の信頼性分析では、機能喪失した機器の機種・故障モード、機能喪失の程度/要因、機能喪失の影響などを調べるため、当該機器に求められている機能・役割、材料、構造などの機器仕様情報や、運用・保守情報、是正措置情報が必要となるため、当該プラントの PRA 要員のみならず、設備保全、運用などの専門知識を持つ要員の協力が不可欠である。

### 3.2.1 機器信頼性データの対象と属性

機器信頼性データ収集の対象機器は、PRA で基事象としてモデル化されている機器である。各機器に対して、以下に示す属性を定義する。

- 故障と機能喪失

本実施ガイドでは、機器の故障と機能喪失とは当該機器に要求される機能が完全に喪失した状態をいい、具体的には 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を対象とする。機器故障率や故障確率を算出するには、機器の故障事象を収集する。

なお、機器が故障に至っていない事象として、劣化事象、予兆事象がある。劣化事象とは、機器機能は維持されているが十分な性能が発揮されていない状態、予兆事象とは、重大な性能の劣化はないが、機能喪失に発展する兆候が見られる状態である。劣化事象も予兆事象も、本実施ガイドでは故障率や故障確率の推定に用いる故障事象には含まない<sup>7</sup>。

- 機種

PRA で基事象としてモデル化されている主要な機器を用途、機能等別にグループ化した機種（電動ポンプ、タービン駆動ポンプ、電動弁、空気作動弁、油圧作動弁、逆止弁、手動弁、非常用ディーゼル発電機、ファンブローア、熱交換器、MG セット、蓄電池、充電器、遮断器、オリフィス、ストレーナ/フィルタ、変圧器、インバータ、等々）を定める。国内の機器について整理したものを「附録 A 機種・故障モードの定義」<sup>8</sup>（以下「附録 A」という）に示す。

- 故障モード

機種別に機能喪失の様態（動的機器の起動失敗・継続運転失敗、弁の開失敗・閉失敗、等々）である故障モードを定める。国内機種に対する故障モードを附録 A に示す。

- 機器バウンダリ

不具合事象がどの機器で発生したものかを明確にするため、機器の範囲、すなわち機器バウンダリを定める。国内機器のバウンダリを「附録 B 機器バウンダリの定義」<sup>9</sup>（以下「附録 B」という）に定める。

なお、上記の機種・故障モード、機器バウンダリはこれに限るものではなく、今後の PRA モデルの高度化やスコープ拡大に伴って加除修正することがありうる。

### 3.2.2 データ収集対象機器の特定

個別プラントの PRA において、故障事象が基事象としてモデル化されている機器<sup>10</sup>を、機器 ID、機器名称、系統、機種、故障モード等で分類整理し、データ収集対象機器リストを作成する<sup>11</sup>。このとき、必要に応じて

- 非展開事象（情報がないためにこれ以上の展開をしない事象又は展開を省略する事象）を構成する機器
- 配管・母線などのセクション数を考慮する機器（附録 B 参照）

も収集対象とする。

<sup>7</sup> 共通原因故障事象の判定（別途ガイドを定める）では、劣化事象、予兆事象も部分的な故障事象として収集の対象とする。

<sup>8</sup> 従来、国内の故障判定に使われていた機種・故障モード定義[2]-[7]を、本実施ガイドの策定にあたってあらたに見直し、国内プラントの PRA で実際にモデル化される機種・故障モードを取捨選択あるいは追加した（ただし、プラント個別特有の機器など、事業者全体で共有する必要がないと考えられる機種・故障モードは含まない）。

<sup>9</sup> 従来、国内の故障判定に使われていた機器バウンダリ[2]-[7]を、本実施ガイド策定にあたってあらたに見直し、追加機種のバウンダリ設定や従来機種のバウンダリ変更を行った。

<sup>10</sup> 機器の故障（機能喪失）事象ではない基事象（ハウスイベント、メンテナンス状態を設定する基事象、運転員操作を表わす基事象など）は抽出対象外とする。

<sup>11</sup> 各社または各プラントの保全データベースの中で PRA 用対象機器を特定でき、保修部門の保全情報が直接 PRA 機器故障モードの判断に活用できるような環境を整備すれば、作業が効率的に実施できると考えられる。

なお、冗長化されている系統のうち、PRAでは特定の1系統のみが代表としてモデル化されている場合がある。そのような場合であっても、系統全体の信頼性を評価するため、モデル化されていないほうの冗長化系統の機器も故障データ収集の対象とする。

また、データ収集の対象は営業運転開始以降のプラントを対象とする。廃止措置計画を申請、または認可されたプラントの機器については、仕様や運用経験の類似性などの観点から運転中プラントの機器信頼性評価に役立つと判断する場合は、必要に応じてデータ収集対象とするのが望ましい。

さらに、現時点ではPRAにモデル化されていない機種・故障モードであっても、今後モデル化が予想される、またはモデル化を予定している機種・故障モードであれば収集対象として挙げておくのがよい。

### 3.2.3 機器故障データの収集

各プラントで実施する機器故障データ収集手順を図3-1に示す。この手順は、プラントの保全データベースなどの全不具合情報を格納した情報源から、PRA対象機器のランダムな不具合に該当しない事象を条件a-eで仕分けし、除外していく手順となっている<sup>12</sup>。この除外操作の結果残った事象は、PRAモデルの基事象に該当する機種・故障モードの不具合となる。このうち、条件fによって完全機能喪失でない事象を除外し、最後に残った事象を機器信頼性パラメータ推定のための機器故障データとする。

以下、仕分け除外条件a~fの詳細を(1)~(8)に説明する。仕分けた結果は、表3-1の様式で理由、根拠とともに記録しておく。

#### (1)「機器以外の不具合事象」を除外

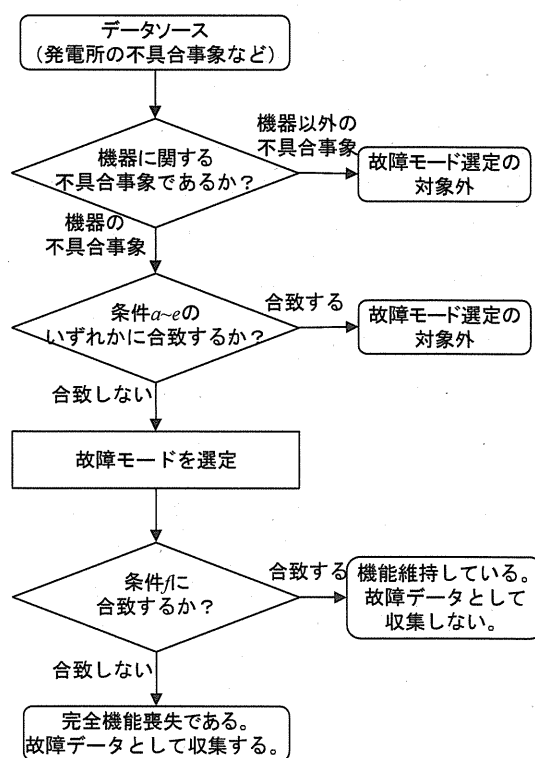
最初に、手順書の不具合など、機器の不具合を

伴わない事象は除外する。

#### (2)「条件a：データ収集対象機器のバウンダリ外の不具合」を除外

上記(1)で除外しなかった事象はなんらかの機器の不具合であり、この中からPRA対象機器に關係しないものを除外する。具体的には、

- 3.2.2で作成したデータ収集対象機器リストを参照して、不具合を発生した機器がこの機器リストに挙がっていないければ、当該事象は対象外として除外する。



故障判定にかかる条件

- 条件a-e…PRA対象機器のランダムな不具合に該当しない条件  
 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：運転時誤操作(保修員による代行操作も含む)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：対象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機能喪失でない不具合である。  
 (劣化事象、あるいは予兆事象、あるいは再現性のない一過性の不具合事象である。)

図3-1 PRA機器故障データ収集手順

<sup>12</sup> 一般に、不具合事象全体の中ではPRA用機器故障事象に關係のない事象のほうが多いため、そのような事象を早い段階で除外しておくという手順になっている。

- 不具合が発生した機器がデータ収集対象機器リストに挙がっている場合は、附録Bを参照して、不具合発生箇所が当該機器のバウンダリ外であれば、対象外として除外する。

後者のバウンダリ内外を判断する際は、附録Bのバウンダリ内外表と、バウンダリ図の実線（バウンダリ内）と点線（バウンダリ外）、を参照する。図3-2に具体的な機器故障バウンダリの考え方の例を示す。機器バウンダリの定義から、当該機器がフロント系の場合、そのサポート系はバウンダリ外である。

なお、図3-2にあるように、我が国では、バウンダリ内に“遮断器”がある機種、あるいは、バウンダリ内に“リミットスイッチ”がある弁装置においては、それら“遮断器”あるいは“リミットスイッチ”の機能喪失は、当該電動弁、弁装置の故障としてだけでなく、“遮断器”あるいは“リミットスイッチ”の故障としてもカウントす

ることとしている<sup>13</sup>。（ただし、前者において、“遮断器”ではなく“電磁接触器”がある場合は、その故障は、“遮断器”の故障には含まない。）

### (3)「条件b：運転時誤操作が原因の不具合」を除外

運転時誤操作（保修員による運転代行作業の誤操作を含む）による機器機能喪失事象は、PRA上は人間信頼性解析で別途モデル化するため、機器故障データ収集対象から除外する<sup>14</sup>。

運転時誤操作以前から機器が故障状態にあり、運転の誤操作は単に当該機器の故障状態の発現のきっかけになっただけであると判断される場合には「運転時誤操作が原因の不具合」ではないので、本条件bでは除外せず、機器故障データの収集対象とする。

同様に、保守作業時の計器誤較正、および、保守作業不良による機器健全性の喪失についても、本条件bでは除外せず、機器故障データの収集対象とする<sup>15</sup>。

表3-1 機器不具合データ仕分けの記録様式

仕分け除外した条件、すなわち、「機器以外の不具合」がまたは条件a-fのどれかに印をつけておく。複数指定可。

整理番号	発見日	不具合名称	内容	不具合の対象機器	不具合機器ID	不具合対象機器のPRA機種	機器以外の不具合事象	条件a	条件b	条件c	条件d	条件e	条件f	故障モード	仕分け理由
1															
2															
3															
4															
5															

<sup>13</sup> 従来、我が国のデータ収集方法では、電動ポンプや電動弁などの機器内の遮断器は当該機器（ポンプや弁など）のバウンダリ外としていたが、NRRC 技術諮問委員会 Stetkar 委員長の推奨により、欧米のバウンダリの決め方と整合性をとり、本ガイドではそれら遮断器は当該機器のバウンダリ内とすることを基本とした。技術的には、そのようにしたほうが、不具合がバウンダリ内で発生したかどうかの判断が容易である。なお、従来のデータ収集方法が“遮断器”の信頼性に影響していたかどうかを後日検証できるようにするため、上記本文では従来と同じ遮断器単体としてのデータ収集も継続することとしている。

<sup>14</sup> 保守作業不良であっても機器自体の機能が低下していない場合（手動弁の開け忘れ、閉め忘れ等）は、人間信頼性解析の扱いになり、機器故障データの収集対象にはならない。

<sup>15</sup> 保守作業不良による機器の不具合は、本来は保守作業中の人間信頼性解析で扱うべきであるが、対象作業数が膨大となることから、我が国では現時点で保守作業中の人間信頼性解析を実施していないため、当面は機器故障データの収集対象として扱う。

#### (4)「条件c：評価対象期間外に発生した不具合」を除外

保安規定などで機能が要求されている期間<sup>16</sup>、あるいは、基本的には機器が供用されている期間を機器信頼性評価の「評価対象期間<sup>17</sup>」とし、それ以外の期間である「評価対象期間外」で発生した不具合事象は除外する。評価対象期間の詳細は、3.2.4で述べる。

なお、下記3つの場合においては、評価対象期間外に発生したと考えられる機器不具合事象であっても、当該機器の機能要求期間における信頼性に影響することから、故障データ収集の対象候補とし、本条件cでは除外しない。

##### 【収集対象候補から除外しない場合 その1】

保安規定などによる機能要求期間外に潜在的な不具合が発生し、それが機能要求期間中に発現した場合は、評価対象期間内の不具合であるとしてデータ収集の対象候補とし、本条件cでは除外しない。

##### 【収集対象候補から除外しない場合 その2】

機器の状態が機能要求期間と同じであるとみなすことのできる機能試験中に当該機器の不具合が発生した場合は、機能要求期間中に起こりうる不具合であるため、データ収集の対象候補とし、本条件cでは除外しない。

例えば、法令で義務付けられている定期事業者検査中に検知された不具合は、故障データ収集対象候補の不具合とみなし、本条件cでは除外しない。

##### 【収集対象候補から除外しない場合 その3】

機能要求期間外に発見された不具合であっても、その不具合がその直前の機能要求期間中に起こり得たと判断できる不具合は、データ収集の対象候補とし、本条件cでは除外しない。

保全計画書等で計画した点検・試験を実施するために当該機器を供用除外した場合、あるいは、保安規定の「予防保全を目的とした点検・修理を実施する場合」の条文に基づいて計画的に運転上の制限外に移行した場合は、当該機器は当該点検・試験中に機能喪失するが、これらの事象は故障とはみなさないのて本条件cで除外する。

#### (5)「条件d：外的要因等が原因の不具合」を除外

機器の不具合の原因が、地震、津波、内部火災、内部溢水など、内的事象以外のPRAで対象とするハザードである場合には、当該ハザードPRAにおいて当該機器に対するフラジリティ評価（機能喪失確率の評価）を実施しているので、当該不具合は本故障データ収集の対象外として除外する。したがって、PRAが実施されていない外部ハザード（現在では落雷、竜巻、降雨など）に起因した機器の不具合については、本条件dによって除外はせず、故障データ収集の対象とする。

なお、PRA対象機器自身が内部火災、内部溢水を引き起こした場合は、当該不具合は故障データ収集の対象とする。

#### (6)「条件e：附録Aの故障モード以外の機能の不具合」を除外

機器の不具合が、当該機種に対して附録Aに定めた故障モードに該当しない場合は、当該不具合は故障データ収集の対象外であるとして除外する。この作業では、下記附録も参考とする。

- ・ 附録E 機器信頼性パラメータ評価に用いる事象ではない事例（以下「附録E」という）

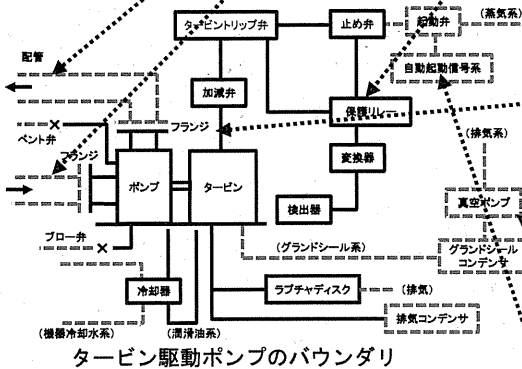
例えば、通常、電動弁は手動操作を行うことが

<sup>16</sup> 保安規定や所則に定められている、機器の機能が要求されている期間。

<sup>17</sup> 機能要求期間の設定が困難で、原子炉運転時間（または歴時間）と当該基事象の機能要求期間との差が小さい場合には、統一的に原子炉運転期間（または歴時間）を評価対象期間として設定してもよい。

項目	バウンダリ内	バウンダリ外
機器本体	ポンプ、タービン、その他	—
駆動用蒸気	蒸気止め弁から排気コンデンサの手前まで *(ラプチャディスクを含む)	起動弁、排気コンデンサ
計測制御装置	冷却水流量・潤滑油圧力等に保つ検出器・変換器・保護リレー、その他	自動起動信号系
潤滑油装置	潤滑油系(ポンプ、冷却器を含む)	機器冷却水系
軸封装置	自給水系	給給水系
グランド蒸気装置	—	タービングランドからコンデンサまで、真空ポンプ
サポート類	支持脚、アンカー等	配管のハンガース
配管・ダクトとの接続	フランジ等	機器側フランジ、パッキン、フランジボルト、その他*
	溶接部	溶接部及び熱影響部(配管側)
付属弁	機器本体に接続されたブロー弁、ベント弁等、及びそこまでの接続配管	—

\*ただし、BWR高圧注水系及び原子炉隔離降圧冷却系については、蒸気止め弁からタービンまで(排気ラインを除く)とする。



タービン駆動ポンプのバウンダリ

**タービン駆動ポンプのバウンダリ外**  
これら点線部の配管は、「タービン駆動ポンプ」のバウンダリ外である。  
配管は、別途、「配管(3インチ以上(又は3インチ未満))の故障」として収集を検討する。

「保護リレーの誤動作」が判明した場合、タービン駆動ポンプは起動信号発信時に起動しないと考えられるため、「タービン駆動ポンプの起動失敗」とする。  
一方、「保護リレーの不動作」が判明した場合、それがタービン駆動ポンプの起動失敗、継続運転失敗のいずれも起こさない場合は、タービン駆動ポンプの起動失敗や継続運転失敗にはしない。

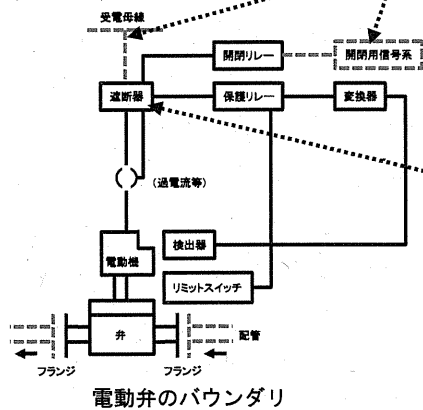
**タービン駆動ポンプのバウンダリ内**  
これら実線部の配管や制御ケーブル等は、「タービン駆動ポンプ」の故障として収集する。  
「配管」や「制御ケーブル」の故障として収集しない。

**タービン駆動ポンプのバウンダリ外**  
これら点線部は「タービン駆動ポンプ」のバウンダリ外である。  
バウンダリ外の部位の故障については、その部位が他機種のバウンダリ内に定義されている場合はその機種について故障判定をする。

**バウンダリ外**  
これら点線部の信号系は、バウンダリ外である。

項目	バウンダリ内	バウンダリ外
機器本体	弁体(ドレン・ベント管及び弁が付置している場合は第一止弁まで)、弁種、弁種、フランジ、その他	—
駆動機構	電動機、減速ギア、その他	—
計測制御装置	リミットスイッチ、電流等に保つ検出器、保護リレー、開閉リレー、その他	開閉用信号系
サポート類	アンカー等	配管サポート等
配管・ダクトとの接続	フランジ等	機器側フランジ(機器本体)
	溶接部	熱影響部(機器側)
受電母線・ケーブルとの接続	ケーブル、遮断器	受電母線

**電動弁のバウンダリ外**  
これら点線部の母線は、「電動弁」のバウンダリ外である。  
別途、「母線」の故障として収集する。



電動弁のバウンダリ

**電動弁のバウンダリ内の遮断器の取扱について**  
これら実線部の遮断器は、「電動弁」のバウンダリ内であるが、遮断器の故障により電動弁の機能喪失した場合は、「電動弁」の故障だけでなく、「遮断器」の故障としてもカウントする。  
「電動弁」だけではなく「遮断器がバウンダリ内にある機種」についても、同様に、遮断器の故障があった場合は、「当該機種」の故障だけでなく、「遮断器」の故障としてもカウントする。(「遮断器」ではなく「電磁接触器」の故障の場合は、「遮断器」の故障には含まない)

図 3-2 機器故障バウンダリの考え方の例

青の実線はバウンダリ内、緑の点線はバウンダリ外を表す。

できるが、手動操作のハンドルの不具合で手動操作ができないという場合は、(手動操作機能は喪失するが) 電動弁の故障モード(開失敗、閉失敗、作動失敗、誤開又は誤閉、外部リーク、内部リーク、閉塞)の機能喪失ではないため、附録Aに定めた故障モード以外の機能の不具合となり、したがって故障データ収集の対象外であるとして除外する。

一方、機器の不具合が附録Aに定める故障モードであっても、当該プラントのPRAにモデル化されておらず機能喪失程度の判断が難しい場合は、データ収集の対象外として除外する。例えば、ある機器において内部または外部リークの不具合があったものの、当該PRAではそれらの故障モードが(不要であるとして)モデル化されていないため機能喪失か否かの判断が困難な場合は、データ収集の対象外として除外する。

#### (7) 故障モードの選定

条件eでデータ収集対象の故障モードでない不具合を除外したので、ここまです除外されずに残った事象はデータ収集対象機器の不具合で、かつ、その故障モードが同定される。この不具合事象について、既出附録の他、以下の附録を参照して、最終的な故障モードを確認・判定する。

- 附録A 機種・故障モードの定義
- 附録D 故障モード選定事例
- 附録E 機器信頼性パラメータ評価に用いる事象ではない事例

待機系機器の不具合が検査や保守作業中に見つかった場合は(「設計や製作の不良」が原因であった場合も含む)、事象から直ちに故障モードを判定することは難しいので、供用中にその不具

合状態で起動または作動要求があったと想定し、起動または作動しなかったと考えられる場合は「起動失敗」または「作動失敗」の故障モードとする。

#### (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

ここまです除外されずに故障モード判定されたデータ収集対象機器の不具合のうち、機器への要求機能が完全に喪失した不具合のみを最終的なPRA用データ収集対象とする。完全な機能喪失ではない不具合、すなわち、劣化、予兆、あるいは再現性がなく機能は完全には失われていないと判断できる不具合は、故障データ収集の対象外として除外する<sup>18</sup>。

ここで、完全機能喪失、劣化、予兆とは、以下のような状態を指す<sup>19</sup>。

- 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。
- 劣化: 当該機器への要求機能は発揮できているが最適な水準には至っていない状態。
- 予兆: 当該機器への要求機能に深刻な劣化はないが、機能を阻害する状況に発展する何らかの兆しが現れている状態。

条件fの除外作業において、劣化や予兆の程度の判定は容易ではないが、機器信頼性評価に必要なのは完全機能喪失事象の収集であり、機能喪失の判定は劣化や予兆の判定よりも比較的容易なので、実際には劣化や予兆の正確な判定をする必要

<sup>18</sup> 条件fで除外した完全機能喪失未満の事象のうち、冗長系機器の事象については共通原因故障データ収集の対象候補となるので、除外記録を残しておくことが特に必要である。

はない。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。

以下、機能喪失の判定についての留意点について述べる。判定にあたっては、前掲附属 A、D、Eの内容に加え、以下(A)、(B)、(C)に留意する。

(A) 他の機器からの波及影響で別の機器が故障する場合

他の機器の機能喪失の波及影響を受けて故障した機器については、以下のとおりに取り扱う。

- ① 波及影響を受けた機器自身も機能喪失し、機能回復のために修繕を要した場合：波及影響を受けた機器も機能喪失とする。
- ② 波及影響を受けた機器が修繕せずに機能復旧した場合：波及影響を受けた機器は機能喪失としない。波及影響を受けた機器を“念のために部品交換”した場合も、修繕せずと取り扱い、機能喪失としない。

したがって、①に該当する機能喪失は、波及影響を与えた機器の故障データに加えて、波及影響を受けた機器の故障についても、もう1件の故障データとして収集する。

以下に他の機器からの波及影響の例を示す。

【波及影響を受けた機器も機能喪失とする場合】

- i. 配電盤においてアーク事象が発生し、過電流の発生後に保護継電器が動作せず、接続機器であるポンプの駆動部モータに損傷が発生した。配電盤の機器、継電器の機能喪失により波及影響を受けた接続機器であるポンプは機能喪失と判定する。

【波及影響を受けた機器を機能喪失としない場合】

- i. 過電流の発生で保護継電器が動作しメタクラ遮断器が開放したため、接続された継続運転中の機器が停止した。この機器は、過電流発生箇所を保修することにより通常状態に復帰したため、機能喪失とはしない。
- ii. 主蒸気止め弁の開度指示計用の検出器の一部の部品が脱落したことで信号が低下し、主蒸気止め弁が一時動作できない状態となった。この主蒸気止め弁は、油圧作動弁としての機能は維持しているため、機能喪失とはしない。

(B) 機器の故障はないが系統との相性が悪く、警報誤発報や誤動作する場合

機器がカタログどおり作動し、故障していない場合であっても、警報誤発報や、誤動作し系統運転を阻害する場合は、その機器はその系統に適していないもの（設計不良・不足で採用されたもの）とみなし、機能喪失と判定する。

表 3-2 機器故障データの記録様式

(1件の事象に対して2件の故障データが抽出される場合には、2行使って2件の故障を記録する。)

整理 No.	機器 ID	機器名称	故障の発見日	機種	故障モード	事象の概要	属性 (表 C-* 機種・属性一覧)	NUCIA 番号
1								
2								
3								
4								
5								



(C) 短時間内で同じ機器が繰り返し故障する場合

機器故障が短時間内に繰り返し発生した場合、その故障を引き起こす原因がただ1つで、かつ、繰り返し発生する事象であれば、それら事象は単一の故障とし、このとき作動要求も1回とする。短時間内の同じ機器の繰り返しの故障の例を示す。

【短時間内の同じ機器の繰り返し故障】<sup>19</sup>

短時間内の電動ポンプの起動デマンドに対し、下記のような繰り返し起動失敗事象が発生したとする。

- ① 起動デマンド 1 回目で起動失敗（機能喪失が発生）
- ② 起動デマンド 2 回目で起動失敗（再現性の確認）
- ③ 修繕後起動デマンド 3 回目で起動失敗（修繕の失敗）
- ④ 再修繕後起動デマンド 4 回目起動成功（修繕の成功）

この場合、4回の起動デマンドのうち3回起動失敗となったが、この原因がただ1つである場合には、①と②の起動失敗は短時間の繰り返し故障として、起動デマンド1回に対して起動失敗が1回発生したとする。ここで、③と④の起動デマンドは修繕の成否の確認作業であるため、③と④の事象データは機器信頼性評価には用いない。

収集した故障データは、表 3-2 の様式で記録を残しておく。なお、それぞれの機種には、機器信頼性を左右すると考えられる属性の違い（作動機構、材料、運用形態、など）があるが、将来、十分なデータが蓄積されたときに属性の違いによる信頼性の違いを分析できるように、「附録 C 機種属性一覧と露出データ様式」表 C-1 を参照して属性の記録もしておく。

<sup>19</sup> NRRC 技術諮問委員会 Stetkar 委員長のご教授による。

### 3.2.4 露出データの収集

機種・故障モードごとに収集すべき露出データの要件を「附録 F 機器・故障モードごとの露出データ」（以下「附録 F」という）にまとめた。収集すべき露出データは、以下の3種類である。

- デマンド数
- 継続運転時間（通常運転、通常待機）
- 供用時間（待機機器の待機時間も含む）

運転日誌、試験・検査記録、プラントコンピュータ等により採取された機器の作動記録から各機器の運転実績の露出データを収集する。各機器の試験手順およびプラント運転手順等の情報を用いることによっても、各機器の運転実績をほぼ正確に導出することができる。

露出データの収集対象機器と故障データの収集対象機器は一致していることが肝要であり、また、収集した機器故障は、基本的に当該機器の露出データの期間に発生したものであることが必要である。3.2.2 で特定したデータ収集対象機器に対して、3.2.3 (4)「条件 c」で定義した評価対象期間の露出データを収集する。収集にあたって、「附録 G 露出データ収集時の留意事項および事例」（以下「附録 G」という）および下記(A)–(D)に留意する。

- (A) 分解点検や部品交換等の保守・補修における試験による起動デマンドは露出データには含めない。これらのデマンドは供用期間外の保守・補修作業の成否を確認するためのデマンドであり、デマンド時の機器状態が供用状態と異なり、供用中の故障発生の可能性を推定するための証拠データとしては適していない。

附録表 A 機種故障モードの定義 (1/5)

機種	故障モード定義	PRA 上の定義	故障モードが直接判断できるもの	故障モードが保守管理により判断できるもの (点検時)
非常用ディーゼル発電機	起動失敗	起動失敗とは、要求時に起動しないうち、起動直後に自動停止する故障及び手動停止する必要がある故障。 (待機中に故障が発見された時は、起動要求があったものとして、起動が可能かどうかを判定する。)	要求時起動しない場合 各パラメータ (振動、異音、異臭、漏えい他)、構成機器 (ガバナ機構不良、発電機短絡等) の異常により自動停止又は手動停止が必要となる場合。 送断器投入後、基準時間内に負荷が確立できない (確立しなかった) 場合。 (規程時間内に電圧が立たない場合、起動するもの設計電圧が立たない場合等)	起動要求があった場合に起動失敗に繋がる不具合 (燃料系統の異常、発電機端子巻線短絡、シーケンス異常等) が認められる場合。
	継続運転失敗	継続運転失敗とは、起動後安定な状態が確立した後、自動停止する故障及び手動停止する必要がある故障。	各パラメータ (発電機出力等) の異常により自動停止又は手動停止が必要となる場合。	性能低下する不具合 (燃料系統の異常、発電機の回転数不足等) が認められる場合。
電動ポンプ	起動失敗	起動失敗とは、要求時に起動しないうち、起動直後に自動停止する故障及び手動停止する必要がある故障。 (待機中に故障が発見された時は、起動要求があったものとして、起動が可能かどうかを判定する。)	要求時起動しない、起動直後、自動停止する場合。 各パラメータ (振動、異音、異臭、漏えい等)、構成機器の異常等が認められる場合。	起動要求があった場合に起動失敗に繋がる不具合 (ケーブル断線、ポンプ主軸の固着等) が認められる場合。
	継続運転失敗	継続運転失敗とは、起動後安定な状態が確立した後、自動停止する故障及び手動停止する必要がある故障。	定格 (吐出圧吐出量等) 指示に異常が認められる場合。	性能低下する不具合 (ウエアリングの拡大、インペラの磨耗、電動機の回転数不足等) が認められる場合。
タービン駆動ポンプ	起動失敗	起動失敗とは、要求時に起動しないうち、起動直後に自動停止する故障及び手動停止する必要がある故障。 (待機中に故障が発見された時は、起動要求があったものとして、起動が可能かどうかを判定する。)	要求時起動しない、起動直後、自動停止する場合。 各パラメータ (振動、異音、異臭、漏えい等)、構成機器の異常等に手動停止が必要となる場合。	起動要求があった場合に起動失敗に繋がる不具合 (ケーブル断線、ポンプ主軸の固着等) が認められる場合。
	継続運転失敗	継続運転失敗とは、起動後安定な状態が確立した後、自動停止する故障及び手動停止する必要がある故障。	各パラメータ (吐出圧吐出量等) の異常により自動停止又は手動停止が必要となる場合。	性能低下する不具合 (ウエアリングの拡大、インペラの磨耗、タービン駆動機構の異常等) が認められる場合。
ディーゼル駆動ポンプ	起動失敗	起動失敗とは、要求時に起動しないうち、起動直後に自動停止する故障及び手動停止する必要がある故障。 (待機中に故障が発見された時は、起動要求があったものとして、起動が可能かどうかを判定する。)	(電動ポンプ、タービン駆動ポンプと同様)	(電動ポンプ、タービン駆動ポンプと同様)
	継続運転失敗	継続運転失敗とは、起動後安定な状態が確立した後、自動停止する故障及び手動停止する必要がある故障。	(電動ポンプ、タービン駆動ポンプと同様)	(電動ポンプ、タービン駆動ポンプと同様)
電動弁	開失敗/閉失敗 (作動失敗)	開失敗/閉失敗とは、開 (または閉) 要求時に開 (または閉) 状態にならない故障。	開 (または閉) 要求時に開 (または閉) 状態にならない場合。(リミット位置まで開閉しない、シーケンスが動かない場合を含む)	ケーブル断線、グランド部の過度のフレクション増大、駆動部の故障等不具合が認められる場合。
	誤開または誤閉	誤開または誤閉とは、開 (または閉) 要求がないにもかかわらず開 (または閉) 状態になる故障。	開 (または閉) の操作なしに、開 (または閉) 状態になる場合。	制御回路の異常が認められる場合
	外部リーク	外部リークとは、機器/ポンプからの漏洩で、所定の機能が喪失する故障。	機器からの漏洩で、増し締め等の手当てを実施しても止まらない場合。 破断等により漏えいが認められる場合。	-
	内部リーク	内部リークとは、閉状態にもかかわらず流量が存在するもので、所定の機能が喪失する故障。	性能に影響を与える異物の噛み込み等により(ワンダリ)機能が維持できていない場合。	分解時に明らかにシート面に損傷等が認められる場合。
	閉塞	閉塞とは、弁の損壊、異物混入等により十分な流量が得られない故障。	運転中十分な流量が得られず、分解点検時、弁体落下等の構造の損壊、性能に影響を与える異物残留等異常が認められる場合。	弁体の落下、性能に影響を与える異物の付着等不具合が認められる場合。
空気作動弁	開失敗/閉失敗 (作動失敗)	開失敗/閉失敗とは、開 (または閉) 要求時に開 (または閉) 状態にならない故障。	開 (または閉) 要求時に開 (または閉) 状態にならない場合。(リミット位置まで開閉しない、シーケンスが動かない場合を含む)	空気供給ライン閉塞、グランド部の過度のフレクション増大損傷、軸の腐食等不具合が認められる場合。
	誤開または誤閉	誤開または誤閉とは、開 (または閉) 要求がないにもかかわらず開 (または閉) 状態になる故障。	開 (または閉) の操作なしに、空気供給が停止 (開始) され、開 (または閉) 状態になる場合。	制御回路の異常が認められる場合。
	外部リーク	外部リークとは、機器/ポンプからの漏洩で、所定の機能が喪失する故障。	機器からの漏洩で、増し締め等の手当てを実施しても止まらない場合。 破断等により漏えいが認められる場合。	-
	内部リーク	内部リークとは、閉状態にもかかわらず流量が存在するもので、所定の機能が喪失する故障。	性能に影響を与える異物の噛み込み等により(ワンダリ)機能が維持できていない場合。	分解時に明らかにシート面に損傷等が認められる場合。
	閉塞	閉塞とは、弁の損壊、異物混入等により十分な流量が得られない故障。	運転中十分な流量が得られず、分解点検時、弁体落下等の構造の損壊、性能に影響を与える異物残留等異常が認められる場合。	弁体の落下、性能に影響を与える異物の付着等不具合が認められる場合。
油圧作動弁	開失敗/閉失敗 (作動失敗)	開失敗/閉失敗とは、開 (または閉) 要求時に開 (または閉) 状態にならない故障。	開 (または閉) 要求時に開 (または閉) 状態にならない場合。(リミット位置まで開閉しない、シーケンスが動かない場合を含む)	ケーブル断線、グランド部の損傷、駆動部の損傷等不具合が認められる場合。
	誤開または誤閉	誤開または誤閉とは、開 (または閉) 要求がないにもかかわらず開 (または閉) 状態になる故障。	開 (または閉) の操作なしに、油供給が停止 (開始) され、開 (または閉) 状態になる場合。	制御回路の異常が認められる場合
	外部リーク	外部リークとは、機器/ポンプからの漏洩で、所定の機能が喪失する故障。	機器からの漏洩で、増し締め等の手当てを実施しても止まらない場合。 破断等により漏えいが認められる場合。	-
	内部リーク	内部リークとは、閉状態にもかかわらず流量が存在するもので、所定の機能が喪失する故障。	性能に影響を与える異物の噛み込み等により(ワンダリ)機能が維持できていない場合。	分解時に明らかにシート面に損傷等が認められる場合。
	閉塞	閉塞とは、弁の損壊、異物混入等により十分な流量が得られない故障。	運転中十分な流量が得られず、分解点検時、弁体落下等の構造の損壊、性能に影響を与える異物残留等異常が認められる場合。	弁体の落下、性能に影響を与える異物の付着等不具合が認められる場合。
逆止弁 (注)試験可能逆止弁も含む。	開失敗/閉失敗 (作動失敗)	開失敗/閉失敗とは、開 (または閉) 要求時に開 (または閉) 状態にならない故障。 (部分閉度でステイックした場合も含む)	開 (または閉) 要求時に開 (または閉) 状態にならない場合 (開失敗)。非過水時、圧力流量が得られない場合 (閉失敗)。	分解時、軸固着等により部分閉度でステイックした場合。
	外部リーク	外部リークとは、機器/ポンプからの漏洩で、所定の機能が喪失する故障。	機器からの漏洩で、増し締め等の手当てを実施しても止まらない場合。 破断等により漏えいが認められる場合。	-
	内部リーク	内部リークとは、閉状態にもかかわらず流量が存在するもので、所定の機能が喪失する故障。	性能に影響を与える異物の噛み込み等により(ワンダリ)機能が維持できていない場合。	分解時に明らかにシート面に損傷等が認められる場合。
手動弁	開失敗/閉失敗 (開閉失敗)	開失敗/閉失敗とは、操作時に開または閉状態にならない故障。(誤操作を除く)	通常操作時に開または閉状態にならない場合。	分解時に弁軸の固着等不具合が認められる場合
	外部リーク	外部リークとは、機器/ポンプからの漏洩で、所定の機能が喪失する故障。	機器からの漏洩で、増し締め等の手当てを実施しても止まらない場合。 破断等により漏えいが認められる場合。	-
	内部リーク	内部リークとは、閉状態にもかかわらず流量が存在するもので、所定の機能が喪失する故障。	性能に影響を与える異物の噛み込み等により(ワンダリ)機能が維持できていない場合。	分解時に明らかにシート面に損傷等が認められる場合。
	閉塞	閉塞とは、弁の損壊、異物混入等により十分な流量が得られない故障。	運転中十分な流量が得られず、分解点検時、弁体落下等の構造の損壊、性能に影響を与える異物残留等異常が認められる場合。	弁体の落下、性能に影響を与える異物の付着等不具合が認められる場合。
安全弁	開失敗/閉失敗 (閉止まり失敗) (作動失敗)	開失敗とは、開要求時に開状態にならない故障。閉 (閉止まり) 失敗とは、閉状態になった後閉状態にならない故障。	所定の設定圧力で閉状態にならない場合 (開失敗)。系統圧力流量が低下し、所定の状態が維持できない場合 (閉 (閉止まり) 失敗)。	シート面の損傷等不具合が認められる場合 (閉 (閉止まり) 失敗)。
	誤開	誤開とは、開要求がないにもかかわらず開状態になる故障。	所定の設定圧力以下で閉状態になる場合。	-
	外部リーク	外部リークとは、機器/ポンプからの漏洩で、所定の機能が喪失する故障および多量の流体損失を起こす故障。	機器からの漏洩で、増し締め等の手当てを実施しても止まらない場合。 破断等により漏えいが認められる場合。	-
	内部リーク	内部リークとは、閉状態にもかかわらず流量が存在するもので、所定の機能が喪失する故障および多量の流体損失を起こす故障。	性能に影響を与える異物の噛み込み等により(ワンダリ)機能が維持できていない場合。	分解時に明らかにシート面に損傷等が認められる場合。
逃がし安全弁 (BWR)	開失敗/閉失敗 (閉止まり失敗) (作動失敗)	開失敗とは、開要求時に開状態にならない故障。閉 (閉止まり) 失敗とは、閉状態になった後閉状態にならない故障。	-	-
	誤開	誤開とは、開要求がないにもかかわらず開状態から閉状態になる故障。	-	-
	外部リーク	外部リークとは、機器/ポンプからの漏洩で、所定の機能が喪失する故障および多量の流体損失を起こす故障。	-	-
	内部リーク	内部リークとは、閉状態にもかかわらず流量が存在するもので、所定の機能が喪失する故障および多量の流体損失を起こす故障。	-	-
真空逃がし弁 (PWR)	開失敗/閉失敗 (作動失敗)	開失敗/閉失敗とは、開 (または閉) 要求時に開 (または閉) 状態にならない故障。	開 (または閉) 要求時に開 (または閉) 状態にならない場合。(リミット位置まで開閉しない、シーケンスが動かない場合を含む)	ケーブル断線、シート面の損傷等不具合が認められる場合。
電磁弁	開失敗/閉失敗 (作動失敗)	開失敗/閉失敗とは、開 (または閉) 要求時に開 (または閉) 状態にならない故障。	開 (または閉) 要求時に開 (または閉) 状態にならない場合。(リミット位置まで開閉しない、シーケンスが動かない場合を含む)	シート面の損傷等不具合が認められる場合。
	誤開または誤閉	誤開または誤閉とは、開 (または閉) 要求がないにもかかわらず開 (または閉) 状態になる故障。	開 (または閉) の操作なしに、例えば、電磁石が励磁から非励磁に、開 (または閉) 状態になる故障。	-
	外部リーク	外部リークとは、機器/ポンプからの漏洩で、所定の機能が喪失する故障。	機器からの漏洩で、増し締め等の手当てを実施しても止まらない場合。 破断等により漏えいが認められる場合。	-
	内部リーク	内部リークとは、閉状態にもかかわらず流量が存在するもので、所定の機能が喪失する故障。	性能に影響を与える異物の噛み込み等により(ワンダリ)機能が維持できていない場合。	分解時に明らかにシート面に損傷等が認められる場合。
	閉塞	閉塞とは、弁の損壊、異物混入等により十分な流量が得られない故障。	運転中十分な流量が得られず、分解点検時、弁体落下等の構造の損壊、性能に影響を与える異物残留等異常が認められる場合。	弁体の落下、性能に影響を与える異物の付着等不具合が認められる場合。

『電力中央研究所報告「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 (2023年5月)」に関する気付き』に対する産業界の回答と今後の改善活動

No	項目	気付き事項	産業界の回答と今後の改善活動
1	人的過誤の扱い	<p>日本原子力学会が作成したパラメータ実施基準<sup>1</sup>「B2.2 故障(failure)の定義」(p27)では、試験又は保守後の人的過誤や計測器の校正ミスから生じる故障が、PRA モデルの中に明示的に含まれている場合は、このような人的過誤は機器の故障に含めず人間信頼性解析で定量化するが、明示的に含まれていない場合は、人的過誤による寄与を該当する機器故障率または確率に含めるべき、という要求がある。</p> <p>しかしデータ収集実施ガイド 3.2.3(b)「条件 b: 運転時誤操作が原因の不適合」を除外(p8)では、運転時誤操作による機器機能喪失事象は、PRA 上は人間信頼性解析で別途モデル化するためデータ収集から除外するとの記載のみである。</p> <p>こうした中、非常用ディーゼル発電機(DG)について確認したところ、機器バウンダリ範囲内の機器の運転員による誤操作や並列後の出力増加操作ミスが故障から除外した事例(NUCIA8205,8827)が見られ、当該事業者が理由を確認したところ、「ガイドの条件 b に基づき除外した」との回答があった。そこでモデル化されていない人的過誤であれば故障とすべきコメントしたところ、個別プラントの PRA でモデル化する旨の回答があった。</p> <p>しかし、DG のバウンダリ内には大量の弁があり、これらの個々の操作の人的過誤をモデル化するのは現実的でなく、適切性確認済み PRA モデルでも機器バウンダリ内の弁等の操作はモデルされていない。また、並列後の出力増加操作のような手動操作による信号発信のバックアップも適切性確認済み PRA モデルには含まれておらず、これらはいずれも機器故障率に含める方がモデル化は容易である。</p> <p>特定のプラントに拠らない機器故障率を収集する観点からは、このような人的過誤を機器故障率に含めることで考え方を統一しないと適切な機器故障率が導出されないおそれがある。また、今回の DG の事例を踏まえると、DG 以外の機器でも事業者全体で考え方が統一されていないことで、適切な故障率が導出されないおそれがある。</p>	<p>引用されている原子力学会基準で「(HRA に明示的に含まれていない場合は) 機器故障率または確率に含めるべき」としている人的過誤は「起因事象発生前の人的過誤、pre-initiator human failure events(HFEs)」のことであり、NRRC データ収集ガイドで「機器故障データ収集対象から除外する」としている人的過誤は「起因事象発生後の人的過誤、post-initiator human failure events(HFEs)」のことであり、両者を混同しないことが必要です。NRRC データ収集ガイドの「条件 b: 運転時誤操作が原因の不適合」の項にも、“保守作業時の計器誤較正、および、保守作業不良による機器健全性の喪失についても、本条件 b では除外せず、機器故障データの収集対象とする。”と記載しているように、「起因事象発生前の人的過誤」は(HRA で扱わないで) 機器故障データの収集対象とすることとしており、原子力学会基準とは矛盾しません。</p> <p>「起因事象発生前の人的過誤、pre-initiator human failure events(HFEs)」と「起因事象発生後の人的過誤、post-initiator human failure events(HFEs)」については、下記 ASME/ANS RA-Sb-2013 “1-2.2 DEFINITIONS”を参照。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ <i>pre-initiator human failure events: human failure events that represent the impact of human errors committed during actions performed prior to the initiation of an accident (e.g., during maintenance or the use of calibration procedures)</i> (注: メンテナンスや較正作業時の過誤で機器を機能喪失状態にしてしまったもの)</li> <li>■ <i>post-initiator human failure events: human failure events that represent the impact of human errors committed during response to abnormal plant conditions.</i> (起因事象対応の緩和操作の過誤で機器を機能喪失にしたもの)</li> </ul> <p>原子力学会基準、ASME/ANS 標準の要件にあるとおり、上記の人的過誤は両方とも本来は人間信頼性評価(HRA)で扱うべきですが、我が国では以前(1997年原安協報告書、およびその後の電中研報告書、JANTI/JANSI 報告書)から、pre-initiator HFEs は扱う事象が膨大となるため HRA でのモデル化は困難という理由で、メンテナンス時・計器較正時等の人的過誤による機器の機能喪失事象は機器故障の中に含めて扱ってきました。この扱いは米国 NRC の NUREG/CR-6823 “Handbook of Parameter Estimation for Probabilistic Risk Assessment,” U.S.NRC, 2003 にも記載されています。</p> <p>“5.2.3.1 Component Failure Event Allocation”</p> <p>11 <i>If failures resulting from human errors after testing, maintenance, and instrument miscalibrations are explicitly included in system models, these events should not be included as component hardware failure events. Such events are typically quantified using human reliability analysis methods. However, some PRAs have not explicitly included these human errors in the models. In such cases, the contribution from human-related failures should be incorporated into the appropriate component failure rate or probability.</i></p> <p>(試験・保守後の人的過誤や計器の誤較正による故障がシステムモデルとして陽に表されている場合には、それらの事象を機器故障事象の中に含めてはいけません。そういった事象は、通常、人間信頼性解析手法で評価するものである。ただし、PRA によってはこれら人的過誤をモデルの中に陽に組み込んでいないものもある。そのような場合は、人為的な故障による寄与も適宜機器故障率/故障確率として扱うべきである。)</p>

1 日本原子力学会標準 原子力発電所の確率論的リスク評価用のパラメータ推定に関する実施基準: 2015(AESJ-SC-RK001:2015)

No	項目	気付き事項	産業界の回答と今後の改善活動
			<p>原子力学会基準の「機器故障率または確率に含めるべき」という記述は、この実態の取扱いに合わせて定められたものです。したがって、NRRC データ収集ガイドの条件 b)でも同じ主旨のルールを定め、<u>post-initiator HFES</u> による機器の機能喪失は機器故障データベースに含めない（で HRA により評価する）が、<u>pre-initiator HFES</u> による機器の機能喪失は（上記の原子力学会基準の記述と同様に）機器故障データベースに含めるとしています。</p> <p>規制庁のご指摘の NUCIA8205,8827 の事象発生状況と事業者の見解、PRA 上の考え方は以下のとおりです。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ NUCIA8205（日本原電、東海第二：事象発生状況）：2006年4月11日9時16分より EDG-2C の定期試験を開始し、手動起動試験準備のターニング操作のため、インジケータコック弁を開操作したところ、18個ある弁のうち1個が動かないことを確認した。弁のストローク等詳細を確認したところ開状態であったため、閉操作したが閉操作できず、開状態で固着していることを確認した。このため、10時30分、EDG-2C について運転上の制限逸脱を宣言した。  <u>事業者の故障判定</u>：通常閉状態の弁であるが、運転員の操作忘れにより開弁であったことから、開弁で高温状態となったことで変形がおこり、開固着となった事象となるため、「条件 b)誤操作が原因の不具合」で除外しています。PRA モデルでは、定期試験時等での運転員による人的過誤（弁の開け忘れ/閉め忘れ等）を設備本体の弁操作であっても運転員が手順に従い操作する弁であれば、起因事象発生前の人的過誤（pre-initiator HFES）として考慮する対象として機器故障のカウントはしていません。この考えに従って発生したインジケータコック弁の閉め忘れ事象についても、起因事象発生前の人的過誤として考慮する対象となりますが、PRA モデル整備時にはターニング操作を実施しない定期試験の手順に変更していたため、起因事象発生前の人的過誤としてモデル化はしていません。  <u>PRA 上の考え方</u>：本事象は、起因事象発生前の人的過誤になりますが、PRA の観点（EDG に要求される安全機能の観点）からは、この EDG がインジケータコック弁開固着の状態でも自動起動して電力供給可能かどうか重要で（この判断には設備の専門家の知識と意見が必要です）。もし可能であれば、本事象は PRA での考慮は（HRA でのモデル化も機器故障としての扱いも）不要となります。もし可能でなければ、現 NRRC ガイドのルールでは EDG 起動失敗として機器故障にカウントすることになります。なお、EDG の定期試験でターニングをしないプラントでは本事象は起こり得ないため、これを PRA 上考える必要はありませんので、この事象を機器故障として処理している場合は、ターニングをしないプラントにとっては若干保守側の評価になります。一方、ターニングをするプラントにとっては将来的には、起因事象前人的過誤として HRA モデル化する必要も考えられるので、PRA モデルでどのように考慮すべきかに関して相互レビューを実施する等の改善策を検討します。</li> <li>■ NUCIA8827（北陸電力、志賀 2 号機：事象発生状況）：定期検査中において、2007年4月11日10時10分頃、定例試験のため起動した EDG-A を所内電源系統に並列したところ自動停止した。このため、同日10時10分に原子炉施設保安規定に定める運転上の制限を満足しない状態であると判断し、原子炉施設保安規定に基づく必要な措置を実施した。  <u>事業者の故障判定</u>：EDG-A が自動停止した原因は、EDG-A を所内電源系統へ並列した後、最初の負荷出力調整において出力の増加操作が不足し、逆電力リレーが動作したことによるものであり、「条件 b)誤操作が原因の不具合」で除外しています。本事象の原因となった誤操作は定例試験時特有の操作（実際に EDG の機能に期待する事象が発生した際には行わない操作）であるため、PRA モデルでは人的過誤としてモデル化していません。</li> </ul>

No	項目	気付き事項	産業界の回答と今後の改善活動
			<p><u>PRA上の考え方</u>：PRAの観点（EDGに要求される安全機能の観点）からは、EDGには緊急時に自動起動して電力供給することが要求されるので、EDGについて自動起動のみをPRAでモデル化した場合、手動操作はPRAの事故シーケンス上に登場することではなく、PRAでモデル化する必要はないと考えられます。一方、EDG自動起動失敗後の手動起動操作をPRAで考慮するのであれば、本事象の誤操作をHRAでモデル化する必要があるか検討することはあると思います。</p> <p>NRRCでは、原子力学会基準、ASME/ANS PRA標準の要件を踏まえ、人的過誤による機器の機能喪失は基本的にHRAでの評価を検討すべきと考えています。しかしながら、現状は高度化の過渡期なのですべてをHRAで扱えず、NRRCガイドでは暫定的にpre-initiator HFEsによる故障のみをランダム機器故障として扱うこととしています。規制庁のご指摘は、post-initiator HFEsによる故障も含め、HRAで扱っていない人的過誤はすべて機器故障として扱うべきということのようですが、PRA標準の要件や海外レビューアの指摘を踏まえてPRA高度化に繋げるため、データ収集ガイドとしてはこれ以上人的過誤を機器故障に含めるような規定にはしないつもりです。</p> <p>以上のことから、人的過誤による機器故障については、PRAでのモデル化の要否を検討し、モデル化が必要であれば海外事例等を参考にしながらHRAにおける扱いも含めて産業界内で検討した上で報告することとします。</p> <p>【今後の改善活動】短期・中期対応：一部の機種を選定し、事業者間で相互レビューを実施して故障判定にばらつきがないことを確認しています。相互レビュー結果において大きな認識の差異がなかったことから、早急に全体の確認をする必要はないと判断しています。今後は、継続的に相互レビューの範囲を拡げていく取り組みを行っていきます。</p> <p>具体的には、人的過誤による機器故障の事例については、PRAの事故シーケンスを構成するかどうかを検討します。例えば「当該故障が事故シーケンスを構成する場合は、感度解析などを実施して全体のリスクに有意な影響があるかを判断し、影響ありとした場合は、HRAでモデル化するか、あるいはモデル化が困難であれば機器故障で考慮する。また、影響が小さいと判定して特にモデル化しなかった場合は、その判定理由を明文化して残す。」というような対応を考えています。産業界内で相互レビューを実施し共通の対応策を検討した上で、規制庁の個社の「PRAの適切性確認」の場で議論し、抽出された課題については、対応方針を検討します。</p>

No	項目	気付き事項	産業界の回答と今後の改善活動
2	対象となる期間	<p>データ収集期間を 3.2.2「データ収集対象機器の特定」(p7)では営業運転開始以降としている一方、3.2.3(4)「条件 c: 評価対象期間外に発生した不具合」を除外(p9)では保安規定などで機能が要求されている期間としているが、前者の起点は機器のオペラビリティと技術的に無関係という問題がある。</p> <p>すなわち、営業運転開始前であっても保安規定が適用されていれば、機能要求を満たさなければ故障と判定すべきところ、建設段階の試運転期間中の DG の定例試験での LCO 逸脱宣言事例を、営業運転開始以前という理由で故障としない事例(NUCIA 10534)が見られた。この事例は、様々な試運転時の試験を経て 100% 電気出力に到達した日から約 1 ヶ月後に発生しており、試運転の最終的な段階にあった。</p> <p>これに対し電力中央研究所(電中研)から、一般に試運転時は営業運転開始後とは設備信頼性の性質が異なる、試運転時は様々な試験が行われるため、デマンド数等の収集条件が定めにくい、試運転期間を範囲内としても結果に殆ど影響が無いため、現行のまま問題ない旨の回答を受け取っているが、機器のオペラビリティの観点からの回答ではないため、故障件数が適切にカウントされていないおそれがある。</p>	<p>一般的にパラメータ推定のための機器故障データ収集を行うためには、まず当該対象機器の信頼性を適切に代表すると考えられる収集期間を定義することが必要となります。機器故障の収集期間は通常の安定した運転状態における機器の故障を取り扱うため、「試運転期間」(通常の安定運転とは異なると考えられる建設後の初臨界から出力を上昇させつつ各種試験を行う期間)という非常に特殊な運転モードは除き、営業運転開始以降の原子炉運転期間のデータ収集をしています。「試運転期間」に故障があったという理由だけで収集期間を設定すると、故障が多く発生する期間を恣意的に収集期間とすることにもなりかねず(一方、故障率を下げるため故障の少ない期間を収集期間と定めることと同様になり)、適当な収集期間の設定としては妥当ではないと考えます。</p> <p>このような考え方は、NUREG/CR-6823 の”5.2.2.1 Event Screening” に下記のように示されています。なお、起因事象発生頻度の推定でも、同様に「試運転期間」のデータは含めず運転開始後の一貫性のあるデータ収集を実施しています。</p> <p>NUREG/CR-6823 の”5.1.2 Data Window”</p> <p><i>Consideration of design changes is one example of where censoring of data can and should be performed. Other reasons can be used for data censoring if they are well supported and valid. For example, it is not uncommon to eliminate data from the first year of plant operation since it represents failures that occurred during the plant break-in period. However, any data censoring should be approached carefully to avoid losing important information and biasing results (eliminating the first year of data actually makes the results less biased).</i></p> <p>(設計変更はデータを除外できる/すべき場合の一例である。その他にも、十分な裏付けと妥当性があれば、除外の理由とすることができる。例えば、<u>プラント運転開始初年度のデータを除外することはめずらしくなく、それはプラントの慣らし運転期間中に発生した故障を表しているためである。ただし、データの除外は慎重に行うべきで、重要な情報が失われて結果に偏りが生じないようにしなければならない(初年度のデータを除外すると実際には結果の偏りは少なくなる。)</u>)</p> <p>規制庁コメントの『「条件 c: 評価対象期間外に発生した不具合」を除外(p9)では保安規定などで機能が要求されている期間としている…営業運転開始前であっても保安規定が適用されていれば、機能要求を満たさなければ故障と判定すべき…100%電気出力に到達した日から約 1 ヶ月後に発生しており、試運転の最終的な段階にあった。』については、上記 NUREG/CR-6823 に記載されているような理由が念頭にあり、NRRC ガイドでは営業運転開始以降のデータを収集することはほぼ自明と考えていました。しかしながら、ご指摘のとおりガイドで定めたルールと実態との齟齬が生じますので、データ収集実施ガイドの次回更新時に「<u>営業運転開始以降に保安規定などで機能が要求されている期間…</u>」と、実態と齟齬のない適切な記載に改めます。</p> <p>規制庁のご指摘の NUCIA 10534 (北海道、泊 3) の事象は、電圧確立後にしばらく運転継続した後、過給器不調による出力低下のため手動停止したので、故障モードは「継続運転失敗」(継続運転時間 1 時間 17 分)となります。この事象の原因は、NUCIA の記載によれば、EDG メーカーにおける製作時のボルト締め付けが不十分であったため過給機が損傷したもので、運転初期の故障として原子炉運転中の機器故障には算入しない方が適切ではないかと考えます。</p>

No	項目	気付き事項	産業界の回答と今後の改善活動
			<p>【今後の改善活動】対応なし：機器信頼性評価の対象期間は、発電所の運転管理、保守管理の運用が同等となる信頼性期間を対象に収集すべきことから、データ収集ガイドには営業運転開始以降をデータ収集対象期間とするよう明記します。</p> <p>「試運転期間」を含めることは発電所の運用が相違することになり適切ではないと考えますので収集開始点の変更は考えていません。データの信頼性を向上させるために今後の運転経験の蓄積に応じて故障件数と露出データの拡充を実施していきます。</p> <p>なお、発電所が運転年数を重ねるにつれて、設計・運転管理・保守管理の運用の変更により機器故障率をはじめ設備信頼性の傾向が変わった場合は、収集期間を適切に見直すこと（例えば、OLM の導入等の保守管理の見直しによって明らかに機器故障率の傾向が変わった場合）が必要となります。</p>

3	起動失敗の扱い	<p>附録表 A「機種故障モードの定義」では、DG の「起動失敗」を「要求時起動しない場合、各パラメータ(振動、異音、異臭、漏えい他)、構成機器(ガバナ機構不良、発電機短絡等)の異常により自動停止又は手動停止が必要となる場合、遮断器投入後、基準時間内に負荷が確立できない(確立しなかった)場合」とし、「継続運転失敗」を「各パラメータ(発電機出力等)の異常により自動停止又は手動停止が必要となる場合」としている。しかし、10 秒以内に電圧を確立する設計の DG が 15 秒で自動停止した事例(NUCIA 7947)、や 1 分で自動停止した事例(NUCIA 9321)は、基準時間内に負荷を確立したと考えられるが、起動失敗としている一方、ガバナの応答性の低下により 1 分間も運転せずに過速度トリップに至った事例(NUCIA 3143)を継続運転失敗とするなど、起動失敗と継続運転失敗の分類が困難な定義となっている。</p> <p>また、米国では起動失敗は 1 時間以内に生じた故障<sup>2</sup>、パラメータ実施基準の「表 B.2—故障モードの例」では起動後 30 分間程度までを起動失敗としているが、どのような理由で今回のように定義を変更したかの説明がない。</p> <p>更に電中研の新故障率<sup>3</sup>の表 3-2「国内一般機器デマンド故障確率の推定結果」(p15)には、DG 以外の電動ポンプ等の起動失敗確率が掲載されているが、これらの機器に対する「起動失敗」の定義は「要求時起動しない、起動直後、自動停止する場合」だけであり、DG と違って「起動直後」の時間的な定義がないため、故障件数が適切にカウントされていないおそれがある。</p>	<p>附録表 A「機種・故障モードの定義」では、EDG の「起動失敗」の定義を「要求時に起動しないか、起動直後に自動停止する故障及び手動停止する必要のある故障。」、EDG の「継続運転失敗」の定義を「起動後安定な状態が確立した後、自動停止する故障及び手動停止する必要のある故障。」としています。規制庁が挙げられている附録表 A の説明は、上記定義の下で故障モードを不具合状況から直接判断できる場合の例を示したものです(同表の見出し項目を参照)。</p> <p>上記定義にしたがって、規制庁が挙げられている 3 つの NUCIA 事例の EDG 故障モードを、NUCIA トラブル情報 (<a href="http://www.nuciac.jp/nuciac/kn/KnTop.do">http://www.nuciac.jp/nuciac/kn/KnTop.do</a>) と各事業者情報から判定すると、それぞれ以下のようになりました。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・NUCIA 7947 (日本原電 敦賀 2) …電圧・周波数が安定確立する「前」に停止したので起動失敗</li> <li>・NUCIA 9321 (北海道 泊 1) …電圧・周波数が安定確立する「前」に停止したので起動失敗、</li> <li>・NUCIA 3143 (関西 高浜 4) …電圧確立「後」に運転継続した後に停止したので継続運転失敗</li> </ul> <p>ここで、規制庁が挙げられている各 NUCIA 事例の説明(「15 秒で自動停止」、「1 分で自動停止」、「1 分間も運転せず…」)は、過去に電中研/JANSI/JANTI で故障判定したもの(NRRC ウェブサイトの原子力発電信頼性システム <a href="https://nrcc.denken.or.jp/kisnrr/index.do">https://nrcc.denken.or.jp/kisnrr/index.do</a>)ですが、当時は「起動失敗」のみ収集し「継続運転失敗」を収集していなかったことから「起動失敗」のデータを「継続運転失敗」にも流用しており、同じ事象に両方の故障モードを充てるという矛盾している部分がありますので、過去の判定情報は使わない方が良いと思います。一方、今回発行したデータ収集ガイドでは、「起動失敗」と「継続運転失敗」を区別して定義し収集するように修正しています。</p> <p>次に、米国や日本原子力学会のパラメータ実施基準の EDG 故障モード定義についてですが、まず、米国 NRC の PRA モデル (SPAR モデル) に使われている機器故障率/確率は、EDG については</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 起動に失敗する FTS(Failure To Start)の起動失敗確率</li> <li>(2) 起動後 1 時間以内に継続運転失敗する場合 FTLR(Failure To Load and Run)の継続運転失敗率</li> <li>(3) 起動後 1 時間以降に継続運転失敗する場合 FTR(Failure to Run)の継続運転失敗率</li> </ol> <p>の 3 つに分けて計算されています。</p> <p>(参考文献)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ S. A. Eide, et.al., “Industry Average Performance for Components and Initiating Events at U.S. Commercial Nuclear Power Plants,” NUREG/CR-6928, U.S. NRC, 2007.</li> <li>■ (NUREG/CR-6928 のアップデート評価のウェブサイト) <a href="https://nrcoe.inl.gov/AvgPerf/">https://nrcoe.inl.gov/AvgPerf/</a></li> <li>■ S.A. Eide, “Historical perspective on failure rates for US commercial reactor components,” Reliability Engineering and System Safety 80 (2003).</li> </ul> <p>米国が継続運転失敗を起動後 1 時間前後で分けた理由は、起動後 1 時間を境に故障率の値が変わるためとされています (Grant GM, et.al., “Reliability study: emergency diesel generator power system, 1987-1993,” NUREG/CR-5500, vol. 5. US NRC, (1999).)</p> <p>上記(1)~(3)からわかるように、NRC の SPAR モデルの方法は、起動操作後 1 時間以内に起こった故障を起動失敗としてカウントしているわけではありません。NRRC のデータ収集方法は、上記 NRC の方法に倣って起動失敗と継続運転失敗に分けましたが、起動後 1 時間で故障率が変わるか否かはまだわかりませんので、現在はそのような分類はせず、今後データを蓄積して、分ける必要があるかどうかを検討することにしています。EDG 以外の待機安全系機器(デマンド故障確率を計算している機器)についても同じ理由で時間的な定義は設定していません。時間定義に関係なく、発生した故障事象はどちらかの故障モードで収集していますので、「時間的な定義がないため、故障件数が適切にカウントされていない」ということはありません。</p>
---	---------	--	--



No	項目	気付き事項	産業界の回答と今後の改善活動
			<p>最後に、日本原子力学会パラメータ実施基準の「表 B.2-故障モードの例」の起動失敗定義（起動後 30 分以内の故障）は、上述しました過去の電中研/JANTI/JANSI での収集方法を記載しているものですが、NRRC 収集ガイドでは、「起動後 30 分」の技術的根拠が乏しいことから、この定義は使っていません。</p> <p>【今後の改善活動】短期対応：起動失敗、継続運転失敗の機器故障データ収集方法は米国と同様であり、故障率を不当に小さく見積もることにはならないので、故障モード定義を是正する必要はないと考えています。</p> <p>中期対応：米国のように「<math>x</math> 時間以内の継続運転失敗」と「<math>x</math> 時間以降の継続運転失敗」の仕分けが必要かどうかを検討する（<math>x</math> が米国同様に 1 [時間]になるかどうかさえまだ不明）ために、今後、データを拡充し分析を行ない、その結果をもとに産業界全体としての方法を定めます。</p>

2 Enhanced Component Performance Study Emergency Diesel Generators 1998-2020 (INL/RPT-22-66601) March 2022 の p1 では Annual failure probabilities (failure per demand) are provided for FTS and FTLR events and annual failure rates (failure per run hour) are provided for FTR>1H としている。NUREG/CR-6928 では FTS は fail to start、FTLR は fail to load and run for one hour、FTR は fail to run としている(p xii の脚注)。Handbook of Parameter Estimation for Probabilistic Risk Assessment (NUREG/CR-6823)の p 5-6 では、it is not unusual in PRAs to define "diesel generator fails to start" as encompassing a failure to start or a failure during the first hour given that the start was successful. としている。

3 電力中央研究所報告 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 (2021.9)

No	項目	気付き事項	産業界の回答と今後の改善活動
4	露出データの収集方法	<p>データ収集は、3.2.4「露出データの収集」(p13)において、附録 G に留意して実施することとなっているが、BWR(附録表 G-1)に比べ PWR(附録表 G-2,3,4)は実データの収集に関する解説が殆ど無く、推定例のみである。例えば、PWR では補助給水ポンプ室の換気空調系のデマンドは夏季 1 回、継続運転時間を 3 ヶ月としてデータを推定するとしているが、BWR の換気空調系は運転引継日誌等による実データの収集を規定しており、データの精度に大きな差異がある。</p> <p>なお、ASME/ANS 基準 DA-C8 のカテゴリーII、IIIの要求では、機器の待機時間を求める必要がある場合はプラントの固有の運転記録を使用するとなっている(カテゴリーIは推定で良い)。</p>	<p>NRRC データ収集ガイドに記載しているとおり露出データは実績値を記録等から収集するのが原則です。何らかの理由でそれができない場合には定められた試験回数や試験間隔等から推定せざるを得ませんが、なるべく実績値に近い推定ができるように推定の考え方の例を挙げています。</p> <p>具体的には、ガイドの附録表 G を参考に発電所の運転監視記録等から実績値を収集可能な露出データとして収集しており、実績値を収集できない露出データについても附録表 G を参考に推定値を算出しています。</p> <p>BWR の「系統・機器ごとの露出データの考え方整理表」(附録表 G-1)にも露出データを推定する方法を例示しており、BWR と PWR で例示の仕方・詳細さには差があるものの、実績値の収集と推定値の算出の考え方を記載しているという点は共通です。</p> <p>露出データを推定する方法は収集できる情報や機器の運用状況によって異なるため、PWR では推定に関する記載が多くなっていますが実績値を収集していないということではありません。なお、機器ごとに実績値を用いるか推定値を用いるかの判断は、各事業者が収集できる情報によって異なっており、また、止むを得ず推定値を用いる場合には、実績値との乖離が大きくなるよう各事業者で算出方法を検証しています。露出データとして推定値を用いる機器とその推定値の算出方法の妥当性については、規制庁の個社の「PRA の適切性確認」の場で議論することになります。</p> <p>なお、規制庁のご指摘の「換気空調系(補助給水ポンプ室)のデマンドと継続運転時間」は、指定機の間欠運転の露出データ収集の考え方※に基づき推定する収集方法を例示しているものになります。補助給水ポンプ室の換気空調系について推定している具体的な例を説明しますと、多くのプラントでは指定機が運転・停止する(例えば、室温 30℃以上で自動起動、15℃以下で自動停止)時間をプラント計算機に記録する仕様になっていないため、指定機が起動から停止まで連続運転すると推定してデマンドと継続運転時間を収集しています。指定機は実際に起動から停止までの期間は連続運転となり、推定でも同様にその間連続運転するとしてデマンドを 1 回と集計しており、実績値と推定値に差はありません。また、継続運転時間の推定でも同じく起動から停止までの間は連続運転するとして継続運転時間を集計しており、実績値と推定値にほとんど差はありません。露出データに推定値を用いるのは、プラント計算機による運転記録がないため止むを得ず行っているものであり、他の系統において露出データの実績値と推定値に不確かさがある場合は、PRA モデルにおいて影響のある推定値になっているかどうかを事業者間で相互レビューし対応策を検討することにします。また、各事業者の露出データを推定する収集方法については、規制庁の個社の「PRA の適切性確認」の場で確認できます。</p> <p>※ 通常運転の機器で指定機として運転している機器が間欠運転している場合には、指定機として設定されている期間を供用(運転)期間として設定し、指定機として設定されている期間の最初の起動を起動デマンド 1 回として集計する。(NRRC データ収集ガイド 3.2.4(C) を参照)</p> <p>【今後の改善活動】短期対応(、必要に応じて中期対応)：露出データ収集方法として重要なのは実際に収集されたデータの質なので、個社の機器故障率の中で確認するのが妥当と考えています。</p> <p>事業者の露出データ(デマンド数、継続運転時間、供用時間)の記録を調査し、産業界内で相互レビューを実施し共通の対応策を検討します。その上で、規制庁の個社の「PRA の適切性確認」の場で議論し(確認方法：ある機種を抜き取って実記録であるか、現場の運用による推定値であるかを確認しデータの妥当性を判定する等)得られた課題については、対応方針を検討します。</p> <p>なお、附録表 G の BWR と PWR の例示の仕方は、可能な範囲で統一し、変更箇所を示す記録を残して確実に次回更新時に反映することとします。</p>

No	項目	気付き事項	産業界の回答と今後の改善活動
5	故障モードのデータ収集の範囲	<p>3.2.3(6)「条件 e：附録 A の故障モード以外の機能の不具合」を除外(p11)では、「ある機器において内部または外部リークの不具合があったものの、当該 PRA ではそれらの故障モードが（不要であるとして）モデル化されていないため機能喪失か否かの判断が困難な場合は、データ収集の対象外として除外する」としている。しかし特定のプラントに拠らない機器故障率を収集する観点からは、全ての故障モードを収集対象とすべきである。</p> <p>例えば、電中研の新故障率<sup>3</sup>(p12)では、電動弁(海水)の作動失敗は 27 基からデータ収集されたが、外部リークは 8 基からしかデータ収集されていない。これは、或るプラントでは原子炉補機冷却海水系の電動弁の外部リークをモデル化している一方、他のプラントではモデル化していないなど、個別プラントのモデル化の程度によりデータ収集の範囲が制限されたためと考えられる。その結果、電動弁(海水)の外部リーク率が過小評価されているおそれがある。</p>	<p>機種・故障モードによっては、当該機器に期待される役割によってその機能喪失の基準が異なる場合があります。一概に故障データと決められない場合があります。例えば、同種同一電動弁の同じ規模のリーク事象であっても、ある系統では許容されず機能喪失となり、別の系統では許容されるため機能喪失にはならない、となる場合があります。このような場合には、当該弁の運用も異なっており、後者の系統において機能喪失とはならないリーク事象を機能喪失とカウントして前者の系統の信頼性の計算に使うのは適切とは言えなくなるため、PRA でモデル化されている範囲の機種・故障モードを収集対象としています。もちろん、PRA でモデル化されていない機器の故障情報がモデル化されている機器の信頼性評価の参考になると考えられればモデル化されていない機器の事象からデータ収集してもよいと考えていますが、それは個別プラントで実態が異なるため具体例を見て判断せざるを得ませんので、そのような扱いが可能かどうか産業界内で収集方法を検討します。</p> <p>なお、一般機器故障率は、「特定のプラントに拠らない」というものではなく、PRA でモデル化した機種・故障モードについて産業界内の個別プラント故障率のばらつきを包絡的に表わしたものであるため、すべての故障モード、というよりは、モデル化した機種・故障モードの信頼性を表現するのに役立つと判断したデータを収集すべきと考えます。</p> <p>電動弁（海水）の例については、8 基においてモデル化されている電動弁（外部リーク）機器母集団の中から当該 8 基で起こった外部リークの事象を収集して故障率を推定していますので、データ収集の仕方としては必要十分で正しく、過小評価にはなっていません。仮に 27 基における電動弁機器母集団の中で 8 基のみから外部リークの事象を収集して推定をしているのならば過小評価になりますが、そのような不整合な処理はしていません。もちろん、当該 8 基以外の 19 基の実績データが当該 8 基の信頼性を表現するのに役立つと判断できれば、そのデータはさらなる信頼性向上に寄与する可能性はあると思いますが、それをしていないからといって評価不足であるとか過小評価であるということではありません。</p> <p>【今後の改善活動】短期対応（必要に応じて中期対応）：現在は PRA の基事象としてモデル化した機器の機種・故障モードを収集対象と設定していますが、PRA でモデル化していない機器の故障情報が活用できるかどうかは、今後産業界内で収集方法を検討します。</p>

No	項目	気付き事項	産業界の回答と今後の改善活動
6	機器のグループ化	<p>日本原子力学会が作成したパラメータ実施基準「C.4.3.5 機器のグループ化」(p46~47)には、以下の内容が示されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・機器をグループ化する場合、設計の類似性(規模、製造元など)、運転頻度、運転環境条件(温度、湿度、放射線など)、運転モード(待機、通常運転、連続運転など)、及び移送媒体(空気、純水、ホウ酸水など)などの機器特性について慎重な検討が必要である</li> <li>・「グループ」の定義においては、例えば、試験対象でない弁又は殆ど作動していない弁、試験対象の弁又は頻繁に作動している弁を同じ一つのグループにしないなど、原則として機器特性が異なるものを一つのグループとしてはいけない</li> <li>・一方、十分な機器データが得られないような場合、又は機器特性が異なっても故障率が同等となるよう保守の方法及び頻度等が考慮されている場合などでは、妥当性確認の結果に基づき、一つのグループとすることもできる</li> </ul> <p>3.2.1「機器信頼性データの対象と属性」の「・機種」(p6)では用途、機能等別にグループ化した機種を定めるとし、国内の機器について整理したものを「附録A 機器・故障モードの定義に示す。」とあるが、附録表Aでは「電動弁」「オリフィス」といった機器ごとに故障モードが定義されているのみのため、パラメータ実施基準が規定している、設計や運転頻度、運転環境条件等を考慮した上でグループ化する、十分なデータが無い時は妥当性確認結果に基づき一つのグループとするという規定を満たしているのか不明確である。</p>	<p>今回実施した機器グループ化の方法は、ほぼ ASME/ANS PRA 標準 DA-B1 に基づいています。「用途、機能等別にグループ化」とは、このレベルでの分類を意図しています。</p> <p>(参考)ASME/ANS RA-Sb-2013 “Table 2-2.6-3 Supporting Requirements for HLR-DA-B”  <i>DA-B1(Capability Category II)</i>  <i>For parameter estimation, GROUP components according to type (e.g., motor-operated pump, air-operated valve) and according to the characteristics of their usage to the extent supported by data: パラメータを推定するには、タイプ(電動ポンプ、空気作動弁等)に応じて、またデータで裏付けられる範囲でその使用の特性に従って機器をグループ化する。</i></p> <p>(a) mission type (e.g., standby, operating) 使命の種類 (例: 待機、作動中)  (b) service condition (e.g., clean vs. untreated water, air) 使用状態 (例: 純粋水と未処理水、空気)</p> <p>規制庁が引用されている原子力学会実施基準の 1 つ目の bullet は ASME/ANS PRA 標準の Capability Category III に相当すると思われませんが、この要件については、実際の故障データもない状態で設計・運転頻度・環境条件の分類基準を定めるのは事実上無理であり、仮に分類したとしてもそれぞれの分類のデータ数が少なく、意味のある統計処理ができないと考えられます。なお、最新の ASME 標準(2022 年版)では Capability Category III は削除されています(総じて Category III の要求事項は事実上実施不可能なものが多いと思います)。なお、将来、十分なデータが蓄積されたときに属性の違いによる信頼性の違いを分析できるように、「附録C 機種属性一覧と露出データ様式」表 C-1 を参照して属性の記録も残しておくようにしています。</p> <p>規制庁が引用されている 2 つ目の bullet (ASME/ANS PRA 標準の DA-B2 の規定)については、上述の状況も踏まえて、附録Aの定義とおり PRA でモデル化されている主要な機器を同一種類別にグループ化しているものを各事業者でデータ収集しています。各事業者の PRA モデルとの整合において適切にグループ化されていることは、規制庁の個社の「PRA の適切性確認」の場で確認できます。</p> <p>3 つ目の bullet については、プラント間のばらつきがあるかどうかを統計的検定により推定しています。</p> <p>【今後の改善活動】中期対応: 機器故障データの評価方法として機器特性の区別を示すことができるほど十分なデータ数が蓄積されるまで時間が必要ですので、直ちに是正する必要はないと考えています。</p> <p>機器のグループ化では同一機種と類似機種を含めてデータ収集の拡充を行っているところであり、データが拡充できたある段階で分析を行い機種の属性を明示的に整理し、産業界内で相互レビューを実施し共通の対応策を検討します。その上で、規制庁の個社の「PRA の適切性確認」の場で議論し(確認方法: ある機種を抜き取ってグループ化されている具体的な機種の属性を確認する等)得られた課題については、対応方針を検討します。</p>
7	附録Dの故障モード選定事例	<p>3.2.3(7)「故障モードの選定」(p11)では、附録Dを参照して、最終的な故障モードを確認・判定しているが、附録表D-1にある故障選定事例は、NUCIAの事象判定ルールに基づくことから、電中研の新故障率の収集方法と整合が取れていない場合がある。</p> <p>例えば、附録表D-1のNo.32, 94は、データ収集実施ガイドに基づく「故障」とはならない事例である。</p>	<p>附録A 機種・故障モードの定義に従って故障モードを設定することを基本としており、附録Dの事例の中で、NRRC データ収集ガイドに基づく故障モード設定例示として正しくない(旧 NUCIA PRA の分析例であるため)事例については、間違いであることを産業界内で周知し、次回更新時に削除します。実際の判定に際しては、本文の記述に従って考える限り致命的な誤りを生ずることはないと考えています。</p> <p>【今後の改善活動】次回更新時  ご指摘の記載上の不整合が生じている箇所は産業界内で検討した上で、変更箇所を示す記録を残して確実に次回更新時に訂正します。</p>

No	項目	気付き事項	産業界の回答と今後の改善活動
8	機器故障に関する事例要約	<p>故障の判断では 3.2.3(8)のとおり、少なくとも使命時間は機能維持できるか否かの評価が必要(p12)であるが、附録表 E の事例要約の説明は、初期状態だけで故障の有無を判断しており、使命時間に渡り機能維持できるか否かの評価が不明確である(No.3,14,25 等)。</p> <p>またヒューマンエラーによる故障は全て故障から除外しており、PRA モデルで別途考慮しているか否かの評価が不明確である(No.9, 39, 42 等)。このため、現在の附録表 E を参照すると、故障か否かの判断をミスリードするおそれがある。</p>	<p>通常の不具合事例では、使命時間の間、機能を果たせる/果たせないということを示す確実なエビデンスが得られることは稀なので、不具合の発生した部位の機能が継続運転に関わるのかどうか設備の専門家の経験・意見を踏まえて工学的判断をする場合が多いと思います。ただし、そのような判断をしたことは記録しておく必要があると考えています。なお、待機安全系で使命時間中に継続運転が必要な機器については、サーベイランス試験等の結果から、試験成功の場合と失敗の場合の継続運転時間を収集し、統計的に継続運転時間分布を推定することによって、使命時間内に機能維持できない確率を求めています。</p> <p>人的過誤で除外している扱いについては、本表 No.1 の回答で述べたとおり、機器のメンテナンスの際に誤って不具合が残ってしまう事例以外は機器故障として含めない方針であり、附録表 E に人的過誤として機器故障から除外判定するために参考となる事例を記録するようにしています。故障率に含まず、PRA 上必要となる人的過誤は、各事業者の PRA モデルにおいて運転員操作などで考慮されているはずで、PRA モデルでどのような運転員操作の人的過誤が考慮されているかは、規制庁の個社の「PRA の適切性確認」の場で確認できます。</p> <p>【今後の改善活動】次回更新時：使命時間内の機能が維持できていたかどうかの判断は、NRRC データ収集ガイドで故障判定時に記録を残すようにルール化することで対応できると考えています。</p> <p>人的過誤を除外している扱いについては事例調査を行い、産業界内で相互レビューを実施し共通の対応策を検討します。その上で、規制庁の個社の「PRA の適切性確認」の場で議論し得られた課題については、対応方針を検討します。（人的過誤へのご指摘は本表 No.1 の回答のとおり対応します。）</p> <p>規制庁のご指摘の使命時間内の機能維持に関して記載上の不適合が生じている箇所は、変更箇所を示す記録を残して確実に次回更新時に訂正します。</p>
9	外的要因の扱い	<p>3.2.3(5)「条件 d： 外的要因等が原因の不具合」を除外」(p9)では、外的事象 PRA で対象とするハザードによる故障はデータ収集の対象外としている。</p> <p>例えば、予備変圧器での消火用水実放出試験による消火用水が、近傍の屋外電気マンホールに浸入し、シール不完全であった電線管を經由して DG 室内の現地操作盤に滴下した事例(NUCIA 8130)について、事業者は内部溢水 PRA の範囲とし、今後機器故障率には含めないとしている。しかし、内部溢水の PRA 評価手法はまだ整備中かつ完成時期が未定であるほか、対象範囲の詳細が明らかではないため、現時点では故障にカウントしないと全体的なリスクを過小評価してしまうおそれがある。</p> <p>また地震については、地震加速度高による原子炉トリップが発生する場合を地震 PRA の対象範囲としているが、トリップが発生しない程度の地震で生じる故障はどの PRA でも範囲外となってしまう。</p>	<p>内的事象以外の外的事象に起因するリスクは、当該外的事象 PRA の中で当該外的事象をリスク源として包括的に考慮して評価する必要があります。外的事象による一部の機器故障を機器故障データベースに含めただけでは当該外的事象リスク全体を適切にカバーできない（当該外的事象による起因事象や緩和系影響などの事故シーケンスまで考慮されない）。</p> <p>なお、外的要因で発生した損傷事象の情報は、当該外的事象のフラジリティ評価や事故シーケンス評価において必要に応じて検討に利用するものと考えています（機器故障データベースに登録しても良いが、機器一般故障率評価には使わない）。</p> <p>地震影響については、内的事象 PRA と地震 PRA にわざわざ分けられない方が整合性があると考えています。</p> <p>【今後の改善活動】短期対応（必要に応じて中期対応）：外的要因等ハザードのリスクは基本的に当該ハザードの PRA で考えるべきものであって、機器故障データベースでカバーすることではないと考えています。</p> <p>機器故障の収集対象は内的事象であり、内的事象以外が原因の故障は対象としていません。しかしながら、不適合事例を基に故障の判定をしており、それらの結果を内的事象（人的過誤の要因も含む）、外的事象の選別を行い、見落としがないように記録を残してモデル化の可否の判定につなげることは可能であり、産業界内で相互レビューを実施し共通の対応策を検討します。その上で、規制庁の個社の「PRA の適切性確認」の場で議論し（確認方法：ある年度の不適合事象リストを基に内的事象が原因の故障か、外的事象が原因の故障かの選別を確認する等）得られた課題については、対応方針を検討します。</p>
10	その他	<p>3.2.3(8)(A)の「【波及影響を受けた機器を機能喪失としない場合】」のii主蒸気止め弁の例示(p12)では、開度指示計用の検出器の一部の部品の脱落で「一時動作できない状態」になったにもかかわらず、「油圧作動弁としての機能は維持している」というのは、誤解を与えかねない。</p>	<p>左記の例は、(A)②の「波及影響で機能喪失した機器が修繕せずに機能復旧する」という具体例として、開度指示計用の検出器と油圧作動弁を別機器としている場合を想定しています。本事象を検出器の故障とし、その影響を受けた側の油圧作動弁の故障とはしないという判断です。ただし、油圧作動弁が「一時動作できない状態」にも関わらず「機能は維持している」とはどのようなことかがわかりにくいので、事業者に例示の趣旨を説明し、記載の見直しについては次回更新時に訂正します。</p> <p>【今後の改善活動】次回更新時：機器故障データ収集ガイドの記載内容の明確化で対応できると考えています。</p>

No	項目	気付き事項	産業界の回答と今後の改善活動
			<p>ご指摘の記載上矛盾が生じている箇所は、事業者に例示の趣旨を説明し、変更箇所を示す記録を残して確実に次回更新時に訂正します。（例えば、「波及影響で安全機能が喪失していないとすると、何が機能喪失したのか明確でない（例えば、常用系の機能喪失が生じたのか）」に依る整合性のある記述に訂正します。）</p>

表 3-1 国内一般機器時間故障率推定結果

“JNID/IL※”は、 $p$ 値<0.05（太字下線）から個別プラント間のばらつきがあると判断したが、最尤法の解がないためばらつきがないとして推定したものを。

No.	ID	機種	故障モード	国内データ			評価手法	p 値	国内新故障率（ガンマ分布）			
				故障件数	運転時間(h)	プラント数			Mean(/h)	EF	$\alpha$	$\beta$
1	T1	非常用ディーゼル発電機	起動失敗	11	3,309,689	27	JNID/IL	0.242	3.5E-06	1.6	11.5	3,309,689
2	T2	非常用ディーゼル発電機	継続運転失敗	7	6,907	27	JNID/IL	0.214	1.1E-03	1.7	7.5	6,907
3	T3	電動ポンプ（通常運転、純水）	起動失敗	2	20,934,842	27	JNID/IL	0.512	1.2E-07	2.5	2.5	20,934,842
4	T4	電動ポンプ（通常運転、純水）	継続運転失敗	1	10,431,547	27	JNID/IL	0.514	1.4E-07	3.3	1.5	10,431,547
5	T5	電動ポンプ（通常運転、海水）	起動失敗	3	7,889,157	27	JNID/IL※	<b>0.048</b>	4.4E-07	2.2	3.5	7,889,157
6	T6	電動ポンプ（通常運転、海水）	継続運転失敗	0	4,697,834	27	JNID/IL	—	1.1E-07	8.4	0.5	4,697,834
7	T7	電動ポンプ（通常待機、純水）	起動失敗	1	11,633,408	27	JNID/IL	0.465	1.3E-07	3.3	1.5	11,633,408
8	T8	電動ポンプ（通常待機、純水）	継続運転失敗	0	13,331	27	JNID/IL	—	3.8E-05	8.4	0.5	13,331
9	T9	電動ポンプ（通常待機、海水）	起動失敗	0	508,439	5	JNID/IL	—	9.8E-07	8.4	0.5	508,439
10	T10	電動ポンプ（通常待機、海水）	継続運転失敗	0	4,057	5	JNID/IL	—	1.2E-04	8.4	0.5	4,057
11	T11	タービン駆動ポンプ	起動失敗	1	1,212,040	27	JNID/IL	0.436	1.2E-06	3.3	1.5	1,212,040
12	T12	タービン駆動ポンプ	継続運転失敗	0	831	27	JNID/IL	—	6.0E-04	8.4	0.5	831
13	T13	ディーゼル駆動ポンプ	起動失敗	0	88,000	2	JNID/IL	—	5.7E-06	8.4	0.5	88,000
14	T14	ディーゼル駆動ポンプ	継続運転失敗	0	76	2	JNID/IL	—	6.6E-03	8.4	0.5	76
15	T17	電動弁（純水）	作動失敗	9	148,453,308	27	JNID/IL	0.092	6.4E-08	1.6	9.5	148,453,308
16	T18	電動弁（純水）	誤開又は誤閉	0	148,036,418	27	JNID/IL	—	3.4E-09	8.4	0.5	148,036,418
17	T19	電動弁（純水）	外部リーク	0	99,577,958	21	JNID/IL	—	5.0E-09	8.4	0.5	99,577,958
18	T20	電動弁（純水）	内部リーク	4	60,486,595	26	JNID/IL	0.805	7.4E-08	2.0	4.5	60,486,595
19	T21	電動弁（純水）	閉塞	0	144,939,288	27	JNID/IL	—	3.4E-09	8.4	0.5	144,939,288
20	T24	電動弁（海水）	作動失敗	5	18,274,928	27	JNID/IL	0.096	3.0E-07	1.9	5.5	18,274,928
21	T25	電動弁（海水）	誤開又は誤閉	0	18,219,232	27	JNID/IL	—	2.7E-08	8.4	0.5	18,219,232
22	T26	電動弁（海水）	外部リーク	0	6,707,431	8	JNID/IL	—	7.5E-08	8.4	0.5	6,707,431
23	T27	電動弁（海水）	内部リーク	3	9,118,729	14	JNID/IL	0.167	3.8E-07	2.2	3.5	9,118,729
24	T28	電動弁（海水）	閉塞	0	18,163,536	27	JNID/IL	—	2.8E-08	8.4	0.5	18,163,536
25	T31	空気作動弁	作動失敗	15	77,690,319	27	JNID/IL	0.081	2.0E-07	1.5	15.5	77,690,319
26	T32	空気作動弁	誤開又は誤閉	1	77,465,541	27	JNID/IL	0.459	1.9E-08	3.3	1.5	77,465,541
27	T33	空気作動弁	外部リーク	1	60,978,708	21	JNID/IL	0.739	2.5E-08	3.3	1.5	60,978,708
28	T34	空気作動弁	内部リーク	4	39,865,996	25	JNID/IL※	<b>0.018</b>	1.1E-07	2.0	4.5	39,865,996
29	T35	空気作動弁	閉塞	0	75,906,300	27	JNID/IL	—	6.6E-09	8.4	0.5	75,906,300
30	T38	油圧作動弁	作動失敗	1	6,037,453	17	JNID/IL	0.145	2.5E-07	3.3	1.5	6,037,453
31	T39	油圧作動弁	誤開又は誤閉	0	6,037,453	17	JNID/IL	—	8.3E-08	8.4	0.5	6,037,453
32	T40	油圧作動弁	外部リーク	0	1,652,120	4	JNID/IL	—	3.0E-07	8.4	0.5	1,652,120
33	T41	油圧作動弁	内部リーク	0	4,743,976	11	JNID/IL	—	1.1E-07	8.4	0.5	4,743,976
34	T42	油圧作動弁	閉塞	0	6,037,453	17	JNID/IL	—	8.3E-08	8.4	0.5	6,037,453
35	T45	逆止弁	作動失敗	5	142,730,961	27	JNID/IL※	<b>1.E-04</b>	3.9E-08	1.9	5.5	142,730,961
36	T46	逆止弁	外部リーク	0	98,164,738	21	JNID/IL	—	5.1E-09	8.4	0.5	98,164,738
37	T47	逆止弁	内部リーク	1	28,061,015	26	JNID/IL	0.761	5.3E-08	3.3	1.5	28,061,015
38	T50	手動弁	開閉失敗	4	441,207,321	27	JNID/IL	0.148	1.0E-08	2.0	4.5	441,207,321
39	T51	手動弁	外部リーク	0	378,640,021	21	JNID/IL	—	1.3E-09	8.4	0.5	378,640,021
40	T52	手動弁	内部リーク	5	90,899,545	26	EB/PL/KS	<b>0.003</b>	4.9E-08	17.7	0.3	6,335,105
41	T53	手動弁	閉塞	0	432,851,325	27	JNID/IL	—	1.2E-09	8.4	0.5	432,851,325
42	T56	安全弁	作動失敗	0	38,985,411	27	JNID/IL	—	1.3E-08	8.4	0.5	38,985,411
43	T57	安全弁	誤開	0	38,985,411	27	JNID/IL	—	1.3E-08	8.4	0.5	38,985,411
44	T58	安全弁	外部リーク	0	28,480,458	21	JNID/IL	—	1.8E-08	8.4	0.5	28,480,458
45	T59	安全弁	内部リーク	1	21,194,997	26	JNID/IL	0.511	7.1E-08	3.3	1.5	21,194,997
46	T62	逃し安全弁（BWR）	作動失敗	0	4,499,872	10	JNID/IL	—	1.1E-07	8.4	0.5	4,499,872
47	T63	逃し安全弁（BWR）	誤開	0	4,499,872	10	JNID/IL	—	1.1E-07	8.4	0.5	4,499,872
48	T64	逃し安全弁（BWR）	外部リーク	0	2,063,229	4	JNID/IL	—	2.4E-07	8.4	0.5	2,063,229
49	T65	逃し安全弁（BWR）	内部リーク	0	3,315,682	7	JNID/IL	—	1.5E-07	8.4	0.5	3,315,682
50	T71	電磁弁	作動失敗	0	4,672,821	9	JNID/IL	—	1.1E-07	8.4	0.5	4,672,821
51	T72	電磁弁	誤開又は誤閉	0	4,672,821	9	JNID/IL	—	1.1E-07	8.4	0.5	4,672,821
52	T73	電磁弁	外部リーク	0	1,686,295	3	JNID/IL	—	3.0E-07	8.4	0.5	1,686,295
53	T74	電磁弁	内部リーク	0	2,124,931	7	JNID/IL	—	2.4E-07	8.4	0.5	2,124,931
54	T75	電磁弁	閉塞	0	4,672,821	9	JNID/IL	—	1.1E-07	8.4	0.5	4,672,821
55	T76	ファン/ブローア	起動失敗	0	29,271,810	26	JNID/IL	—	1.7E-08	8.4	0.5	29,271,810
56	T77	ファン/ブローア	継続運転失敗	3	9,988,894	26	JNID/IL	0.086	3.5E-07	2.2	3.5	9,988,894
57	T80	ダンパ	作動失敗	19	89,771,018	26	EB/PL/KS	<b>0.004</b>	2.0E-07	16.7	0.3	1,559,001
58	T81	ダンパ	誤開又は誤閉	0	89,057,437	26	JNID/IL	—	5.6E-09	8.4	0.5	89,057,437
59	T82	ダンパ	外部リーク	1	57,916,097	21	JNID/IL	0.633	2.6E-08	3.3	1.5	57,916,097
60	T83	ダンパ	内部リーク	0	21,429,791	16	JNID/IL	—	2.3E-08	8.4	0.5	21,429,791
61	T84	ダンパ	閉塞	0	89,771,018	26	JNID/IL	—	5.6E-09	8.4	0.5	89,771,018
62	T85	熱交換器	伝熱管破損	3	43,723,715	27	JNID/IL※	<b>5.E-05</b>	8.0E-08	2.2	3.5	43,723,715
63	T86	熱交換器	外部リーク	0	29,221,743	21	JNID/IL	—	1.7E-08	8.4	0.5	29,221,743

表 3-1 国内一般機器時間故障率推定結果

"JNID/IL※" は、 $p$  値<0.05 (太字下線) から個別プラント間のばらつきがあると判断したが、最尤法の解がないためばらつきがないとして推定したもの。

No.	ID	機種	故障モード	国内データ			国内新故障率 (ガンマ分布)					
				故障件数	運転時間(h)	プラント数	評価手法	p 値	Mean(/h)	EF	$\alpha$	$\beta$
64	T87	熱交換器	伝熱管閉塞	0	43,039,331	27	JNID/IL	—	1.2E-08	8.4	0.5	43,039,331
65	T88	タンク	破損	0	12,630,873	24	JNID/IL	—	4.0E-08	8.4	0.5	12,630,873
66	T89	タンク	閉塞	0	12,187,429	24	JNID/IL	—	4.1E-08	8.4	0.5	12,187,429
67	T90	オフィス	外部リーク	0	83,011,062	21	JNID/IL	—	6.0E-09	8.4	0.5	83,011,062
68	T91	オフィス	内部破損	1	115,266,008	26	JNID/IL※	<b>0.020</b>	1.3E-08	3.3	1.5	115,266,008
69	T92	オフィス	閉塞	2	114,609,897	26	JNID/IL※	<b>1.E-04</b>	2.2E-08	2.5	2.5	114,609,897
70	T93	ストレーナ/フィルタ (純水)	外部リーク	0	18,205,762	21	JNID/IL	—	2.7E-08	8.4	0.5	18,205,762
71	T94	ストレーナ/フィルタ (純水)	内部破損	0	28,546,155	27	JNID/IL	—	1.8E-08	8.4	0.5	28,546,155
72	T95	ストレーナ/フィルタ (純水)	閉塞	0	28,546,150	27	JNID/IL	—	1.8E-08	8.4	0.5	28,546,150
73	T96	ストレーナ/フィルタ (海水)	外部リーク	1	5,952,335	13	JNID/IL	0.325	2.5E-07	3.3	1.5	5,952,335
74	T97	ストレーナ/フィルタ (海水)	内部破損	0	13,386,504	27	JNID/IL	—	3.7E-08	8.4	0.5	13,386,504
75	T98	ストレーナ/フィルタ (海水)	閉塞	1	13,052,328	27	JNID/IL	0.359	1.1E-07	3.3	1.5	13,052,328
76	T99	制御機駆動装置 (BWR)	挿入失敗	0	6,032,868	7	JNID/IL	—	8.3E-08	8.4	0.5	6,032,868
77	T103	RPS、CRDM、MGセット	機能喪失	0	204,902	2	JNID/IL	—	2.4E-06	8.4	0.5	204,902
78	T104	インバータ	機能喪失	0	1,048,176	6	JNID/IL	—	4.8E-07	8.4	0.5	1,048,176
79	T108	遮断器	作動失敗	2	130,046,573	27	JNID/IL	0.913	1.9E-08	2.5	2.5	130,046,573
80	T109	遮断器	誤閉又は誤開	2	130,046,573	27	JNID/IL	0.133	1.9E-08	2.5	2.5	130,046,573
81	T110	変圧器	機能喪失	1	11,722,801	27	JNID/IL	0.139	1.3E-07	3.3	1.5	11,722,801
82	T111	蓄電池	機能喪失	0	5,048,458	27	JNID/IL	—	9.9E-08	8.4	0.5	5,048,458
83	T112	充電器	機能喪失	1	4,844,536	27	JNID/IL	0.343	3.1E-07	3.3	1.5	4,844,536
84	T113	母線	機能喪失	1	44,012,575	27	JNID/IL	0.099	3.4E-08	3.3	1.5	44,012,575
85	T117	配管 (3インチ未満)	リーク	0	302,590,198	16	JNID/IL	—	1.7E-09	8.4	0.5	302,590,198
86	T118	配管 (3インチ未満)	閉塞	0	278,094,635	14	JNID/IL	—	1.8E-09	8.4	0.5	278,094,635
87	T119	配管 (3インチ以上)	リーク	0	670,678,331	19	JNID/IL	—	7.5E-10	8.4	0.5	670,678,331
88	T120	配管 (3インチ以上)	閉塞	0	393,872,221	15	JNID/IL	—	1.3E-09	8.4	0.5	393,872,221
89	T121	リレー	不動作	1	378,212,352	27	JNID/IL	0.548	4.0E-09	3.3	1.5	378,212,352
90	T122	リレー	誤動作	1	378,208,175	27	JNID/IL	0.839	4.0E-09	3.3	1.5	378,208,175
91	T123	遅延リレー	不動作	1	47,579,852	19	JNID/IL	0.078	3.2E-08	3.3	1.5	47,579,852
92	T124	遅延リレー	誤動作	0	47,582,365	19	JNID/IL	—	1.1E-08	8.4	0.5	47,582,365
93	T125	演算器	不動作	0	12,388,533	9	JNID/IL	—	4.0E-08	8.4	0.5	12,388,533
94	T126	演算器	高出力/低出力	0	12,388,533	9	JNID/IL	—	4.0E-08	8.4	0.5	12,388,533
95	T127	カード (半導体ロジック回路)	不動作	0	35,745,155	15	JNID/IL	—	1.4E-08	8.4	0.5	35,745,155
96	T128	カード (半導体ロジック回路)	誤動作	0	35,752,512	15	JNID/IL	—	1.4E-08	8.4	0.5	35,752,512
97	T129	警報設定器	不動作	0	52,431,784	20	JNID/IL	—	9.5E-09	8.4	0.5	52,431,784
98	T130	警報設定器	誤動作	0	52,431,784	20	JNID/IL	—	9.5E-09	8.4	0.5	52,431,784
99	T131	ヒューズ	誤断線	0	9,721,873	8	JNID/IL	—	5.1E-08	8.4	0.5	9,721,873
100	T132	流量トランスミッタ	不動作	0	8,745,208	24	JNID/IL	—	5.7E-08	8.4	0.5	8,745,208
101	T133	流量トランスミッタ	高出力/低出力	1	8,745,208	24	JNID/IL※	<b>0.015</b>	1.7E-07	3.3	1.5	8,745,208
102	T134	圧カトランスミッタ	不動作	0	43,449,035	27	JNID/IL	—	1.2E-08	8.4	0.5	43,449,035
103	T135	圧カトランスミッタ	高出力/低出力	2	43,449,035	27	JNID/IL	0.591	5.8E-08	2.5	2.5	43,449,035
104	T136	水位トランスミッタ	不動作	3	30,809,449	27	JNID/IL	0.695	1.1E-07	2.2	3.5	30,809,449
105	T137	水位トランスミッタ	高出力/低出力	1	30,785,498	27	JNID/IL	1.000	4.9E-08	3.3	1.5	30,785,498
106	T138	温度検出器	不動作	0	29,740,837	24	JNID/IL	—	1.7E-08	8.4	0.5	29,740,837
107	T139	温度検出器	高出力/低出力	2	29,741,845	24	JNID/IL	0.065	8.4E-08	2.5	2.5	29,741,845
108	T140	放射線検出器	不動作	0	1,595,100	4	JNID/IL	—	3.1E-07	8.4	0.5	1,595,100
109	T141	放射線検出器	高出力/低出力	0	1,595,100	4	JNID/IL	—	3.1E-07	8.4	0.5	1,595,100
110	T142	流量スイッチ	不動作	1	1,957,004	8	JNID/IL	0.578	7.7E-07	3.3	1.5	1,957,004
111	T143	流量スイッチ	誤動作	0	1,957,004	8	JNID/IL	—	2.6E-07	8.4	0.5	1,957,004
112	T144	圧力スイッチ	不動作	1	14,081,319	18	JNID/IL	0.696	1.1E-07	3.3	1.5	14,081,319
113	T145	圧力スイッチ	誤動作	0	14,081,319	18	JNID/IL	—	3.6E-08	8.4	0.5	14,081,319
114	T146	水位スイッチ	不動作	2	8,637,686	11	JNID/IL	0.705	2.9E-07	2.5	2.5	8,637,686
115	T147	水位スイッチ	誤動作	0	8,637,686	11	JNID/IL	—	5.8E-08	8.4	0.5	8,637,686
116	T148	温度スイッチ	不動作	0	13,404,865	19	JNID/IL	—	3.7E-08	8.4	0.5	13,404,865
117	T149	温度スイッチ	誤動作	0	13,404,865	19	JNID/IL	—	3.7E-08	8.4	0.5	13,404,865
118	T150	リミットスイッチ	不動作	2	42,922,407	22	JNID/IL	1.000	5.8E-08	2.5	2.5	42,922,407
119	T151	リミットスイッチ	誤動作	1	42,922,407	22	JNID/IL	1.000	3.5E-08	3.3	1.5	42,922,407
120	T152	手動スイッチ	不動作	1	71,966,709	26	JNID/IL	1.000	2.1E-08	3.3	1.5	71,966,709
121	T153	手動スイッチ	誤動作	0	71,966,709	26	JNID/IL	—	6.9E-09	8.4	0.5	71,966,709
122	T154	コントローラ	不動作	0	1,088,885	4	JNID/IL	—	4.6E-07	8.4	0.5	1,088,885
123	T155	コントローラ	高出力/低出力	0	1,088,885	4	JNID/IL	—	4.6E-07	8.4	0.5	1,088,885
124	T156	配線/電線	短絡	0	19,452,045	22	JNID/IL	—	2.6E-08	8.4	0.5	19,452,045
125	T157	配線/電線	地絡	0	19,452,045	22	JNID/IL	—	2.6E-08	8.4	0.5	19,452,045
126	T158	配線/電線	断線	0	19,452,045	22	JNID/IL	—	2.6E-08	8.4	0.5	19,452,045



表 3-1 国内一般機器時間故障率推定結果

“JNID/IL※”は、 $p$ 値<0.05 (太字下線) から個別プラント間のばらつきがあると判断したが、最尤法の解がないためばらつきがないとして推定したもの。

No.	ID	機種	故障モード	国内データ			評価手法	p 値	国内新故障率 (ガンマ分布)			
				故障件数	運転時間(h)	プラント数			Mean(/h)	EF	$\alpha$	$\beta$
127	T159	ヒーター	機能喪失	0	1,158,301	10	JNID/IL	—	4.3E-07	8.4	0.5	1,158,301
128	T160	アナンシエータ	機能喪失	0	350,180	5	JNID/IL	—	1.4E-06	8.4	0.5	350,180
129	T161	空気圧縮機	起動失敗	1	3,637,160	27	JNID/IL	1.000	4.1E-07	3.3	1.5	3,637,160
130	T162	空気圧縮機	継続運転失敗	7	1,707,068	27	EB/PL/KS	<b>0.020</b>	4.1E-06	8.2	0.5	125,091
131	T165	爆破弁 (BWR)	開失敗	0	182,534	2	JNID/IL	—	2.7E-06	8.4	0.5	182,534
132	T166	爆破弁 (BWR)	誤開	0	182,534	2	JNID/IL	—	2.7E-06	8.4	0.5	182,534
133	T167	爆破弁 (BWR)	外部リーク	0	87,590	1	JNID/IL	—	5.7E-06	8.4	0.5	87,590
134	T168	爆破弁 (BWR)	内部リーク	0	87,590	1	JNID/IL	—	5.7E-06	8.4	0.5	87,590
135	T169	爆破弁 (BWR)	閉塞	0	182,534	2	JNID/IL	—	2.7E-06	8.4	0.5	182,534
136	T170	主復水器 (BWR)	伝熱管破損	2	1,186,653	11	JNID/IL※	<b>0.011</b>	2.1E-06	2.5	2.5	1,186,653
137	T171	主復水器 (BWR)	外部リーク	0	565,526	5	JNID/IL	—	8.8E-07	8.4	0.5	565,526
138	T172	主復水器 (BWR)	伝熱管閉塞	0	1,186,653	11	JNID/IL	—	4.2E-07	8.4	0.5	1,186,653
139	T173	復水器 (BWR)	伝熱管破損	0	1,193,638	11	JNID/IL	—	4.2E-07	8.4	0.5	1,193,638
140	T174	復水器 (BWR)	外部リーク	0	487,139	5	JNID/IL	—	1.0E-06	8.4	0.5	487,139
141	T175	復水器 (BWR)	伝熱管閉塞	0	1,193,638	11	JNID/IL	—	4.2E-07	8.4	0.5	1,193,638
142	T176	ラプチャーディスク(BWR)	開失敗	0	317,897	8	JNID/IL	—	1.6E-06	8.4	0.5	317,897
143	T177	サンプスクリーン(PWR)	閉塞	0	1,269,586	15	JNID/IL	—	3.9E-07	8.4	0.5	1,269,586
144	T180	冷凍機	起動失敗	16	5,468,469	25	EB/PL/KS	<b>0.000</b>	3.2E-06	11.5	0.4	125,826
145	T181	冷凍機	継続運転失敗	20	2,940,278	25	EB/PL/KS	<b>0.007</b>	6.7E-06	4.6	0.9	137,632
146	T187	再結合器 (OG含む) (BWR)	機能喪失	2	594,379	10	JNID/IL※	<b>0.002</b>	4.2E-06	2.5	2.5	594,379
147	T188	補助ボイラー(BWR)	機能喪失	19	670,207	8	EB/PL/KS	<b>0.000</b>	3.6E-05	7.1	0.6	16,279
148	T209	窒素/空気ポンペ	外部リーク	0	337,531	1	JNID/IL	—	1.5E-06	8.4	0.5	337,531
149	T210	窒素/空気ポンペ	閉塞	0	845,375	4	JNID/IL	—	5.9E-07	8.4	0.5	845,375
150	T213	演算装置 (デジタル制御機器)	不動作	4	9,415,906	3	JNID/IL	0.273	4.8E-07	2.0	4.5	9,415,906
151	T214	演算装置 (デジタル制御機器)	誤動作	0	9,415,906	3	JNID/IL	—	5.3E-08	8.4	0.5	9,415,906
152	T215	インターフェイス (デジタル制御機器)	不動作	0	7,843,186	1	JNID/IL	—	6.4E-08	8.4	0.5	7,843,186
153	T216	インターフェイス (デジタル制御機器)	誤動作	0	7,843,186	1	JNID/IL	—	6.4E-08	8.4	0.5	7,843,186
154	T217	入出力装置 (デジタル制御機器)	不動作	4	25,984,628	3	JNID/IL	0.537	1.7E-07	2.0	4.5	25,984,628
155	T218	入出力装置 (デジタル制御機器)	誤動作	0	25,984,628	3	JNID/IL	—	1.9E-08	8.4	0.5	25,984,628
156	T219	ロジックカード (デジタル制御機器)	不動作	0	555,720	2	JNID/IL	—	9.0E-07	8.4	0.5	555,720
157	T220	ロジックカード (デジタル制御機器)	誤動作	0	555,720	2	JNID/IL	—	9.0E-07	8.4	0.5	555,720
158	T221	ロードドライバ (デジタル制御機器)	不動作	1	7,104,373	3	JNID/IL	1.000	2.1E-07	3.3	1.5	7,104,373
159	T222	ロードドライバ (デジタル制御機器)	誤動作	1	7,104,373	3	JNID/IL	1.000	2.1E-07	3.3	1.5	7,104,373
160	T223	光ケーブル (デジタル制御機器)	機能喪失	0	9,150,383	1	JNID/IL	—	5.5E-08	8.4	0.5	9,150,383
161	T227	計装用電源装置 (E/S) (デジタル制御機器)	機能喪失	0	28,830,300	2	JNID/IL	—	1.7E-08	8.4	0.5	28,830,300
162	T228	中性子束検出器 (BWR)	不動作	1	2,103,788	10	JNID/IL	0.863	7.1E-07	3.3	1.5	2,103,788
163	T229	中性子束検出器 (BWR)	高出力/低出力	0	2,103,788	10	JNID/IL	—	2.4E-07	8.4	0.5	2,103,788
164	T232	真空破壊弁 (BWR)	作動失敗	0	3,431,345	10	JNID/IL	—	1.5E-07	8.4	0.5	3,431,345
165	T233	真空破壊弁 (BWR)	外部リーク	0	935,107	4	JNID/IL	—	5.3E-07	8.4	0.5	935,107
166	T234	真空破壊弁 (BWR)	内部リーク	0	1,693,018	7	JNID/IL	—	3.0E-07	8.4	0.5	1,693,018
167	T235	空気貯槽 (BWR)	破損	0	9,750,615	10	JNID/IL	—	5.1E-08	8.4	0.5	9,750,615
168	T236	空気貯槽 (BWR)	閉塞	0	9,750,615	10	JNID/IL	—	5.1E-08	8.4	0.5	9,750,615
169	T237	格納容器	リーク	0	438,595	11	JNID/IL	—	1.1E-06	8.4	0.5	438,595
170	T238	容積式流量積算計	外部リーク	0	464,290	3	JNID/IL	—	1.1E-06	8.4	0.5	464,290
171	T239	容積式流量積算計	閉塞	3	1,654,888	8	JNID/IL※	<b>0.015</b>	2.1E-06	2.2	3.5	1,654,888
172	T240	脱塩塔 (BWR)	外部リーク	0	1,019,178	5	JNID/IL	—	4.9E-07	8.4	0.5	1,019,178
173	T241	脱塩塔 (BWR)	閉塞	0	2,739,568	10	JNID/IL	—	1.8E-07	8.4	0.5	2,739,568
174	T242	制御弁 (BWR)	制御不能	3	5,710,342	9	JNID/IL	0.572	6.1E-07	2.2	3.5	5,710,342
175	T243	制御弁 (BWR)	誤開又は誤閉	0	10,154,725	10	JNID/IL	—	4.9E-08	8.4	0.5	10,154,725
176	T244	エゼクタ (BWR)	外部リーク	0	116,570	3	JNID/IL	—	4.3E-06	8.4	0.5	116,570
177	T245	エゼクタ (BWR)	内部破損	0	739,259	8	JNID/IL	—	6.8E-07	8.4	0.5	739,259
178	T246	エゼクタ (BWR)	閉塞	0	739,259	8	JNID/IL	—	6.8E-07	8.4	0.5	739,259

表 3-2 国内一般機器デマンド故障確率の推定結果

"JNID/IL※" は、 $p$  値 $<0.05$  (太字下線) から個別プラント間のばらつきがあると判断したが、最尤法の解がないためばらつきがないとして推定したもの。

No.	ID	機種	故障モード	国内データ			評価手法	p 値	国内新故障確率 (ベータ分布)			
				故障件数	デマンド数	プラント数			Mean	EF	$\alpha$	$\beta$
1	D1	非常用ディーゼル発電機	起動失敗	11	6,878	27	JNID/IL	0.139	1.7.E-03	1.6	11.5	6,868
2	D3	電動ポンプ (通常運転、純水)	起動失敗	2	19,318	27	JNID/IL	0.147	1.3.E-04	2.5	2.5	19,317
3	D5	電動ポンプ (通常運転、海水)	起動失敗	3	9,075	27	JNID/IL※	<b>0.003</b>	3.9.E-04	2.2	3.5	9,073
4	D7	電動ポンプ (通常待機、純水)	起動失敗	1	20,895	27	JNID/IL	0.295	7.2.E-05	3.3	1.5	20,895
5	D9	電動ポンプ (通常待機、海水)	起動失敗	0	1,815	5	JNID/IL	—	2.8.E-04	8.4	0.5	1,816
6	D11	タービン駆動ポンプ	起動失敗	1	2,047	27	JNID/IL	0.489	7.3.E-04	3.3	1.5	2,047
7	D13	ディーゼル駆動ポンプ	起動失敗	0	150	2	JNID/IL	—	3.3.E-03	8.4	0.5	151
8	D15	電動弁 (純水)	開失敗	5	118,838	27	JNID/IL	0.237	4.6.E-05	1.9	5.5	118,834
9	D16	電動弁 (純水)	閉失敗	4	120,217	27	JNID/IL	0.113	3.7.E-05	2.0	4.5	120,214
10	D22	電動弁 (海水)	開失敗	3	365,722	25	JNID/IL※	<b>0.020</b>	9.6.E-06	2.2	3.5	365,720
11	D23	電動弁 (海水)	閉失敗	2	365,687	25	JNID/IL※	<b>0.002</b>	6.8.E-06	2.5	2.5	365,686
12	D29	空気作動弁	開失敗	11	78,042	26	JNID/IL※	<b>0.005</b>	1.5.E-04	1.6	11.5	78,032
13	D30	空気作動弁	閉失敗	4	77,927	26	JNID/IL	0.126	5.8.E-05	2.0	4.5	77,924
14	D36	油圧作動弁	開失敗	1	15,899	17	JNID/IL	0.668	9.4.E-05	3.3	1.5	15,899
15	D37	油圧作動弁	閉失敗	0	15,801	17	JNID/IL	—	3.2.E-05	8.4	0.5	15,802
16	D43	逆止弁	開失敗	0	141,286	27	JNID/IL	—	3.5.E-06	8.4	0.5	141,287
17	D44	逆止弁	閉失敗	5	141,372	27	JNID/IL※	<b>3.E-04</b>	3.9.E-05	1.9	5.5	141,368
18	D48	手動弁	開失敗	1	20,449	26	JNID/IL	0.212	7.3.E-05	3.3	1.5	20,449
19	D49	手動弁	閉失敗	3	20,448	26	JNID/IL	0.422	1.7.E-04	2.2	3.5	20,446
20	D54	安全弁	開失敗	0	1,612	18	JNID/IL	—	3.1.E-04	8.4	0.5	1,613
21	D55	安全弁	閉 (吹止まり)失敗	0	1,612	18	JNID/IL	—	3.1.E-04	8.4	0.5	1,613
22	D60	逃し安全弁 (BWR)	開失敗	0	1,535	8	JNID/IL	—	3.3.E-04	8.4	0.5	1,536
23	D61	逃し安全弁 (BWR)	閉 (吹止まり)失敗	0	1,535	8	JNID/IL	—	3.3.E-04	8.4	0.5	1,536
24	D69	電磁弁	開失敗	0	84,701	4	JNID/IL	—	5.9.E-06	8.4	0.5	84,702
25	D70	電磁弁	閉失敗	0	84,735	4	JNID/IL	—	5.9.E-06	8.4	0.5	84,736
26	D76	ファン/プロア	起動失敗	0	31,865	26	JNID/IL	—	1.6.E-05	8.4	0.5	31,866
27	D78	ダンバ	開失敗	4	48,153	26	JNID/IL	0.155	9.3.E-05	2.0	4.5	48,150
28	D79	ダンバ	閉失敗	15	48,070	26	JNID/IL※	<b>0.004</b>	3.2.E-04	1.5	15.5	48,056
29	D106	遮断器	開放失敗	1	52,694	26	JNID/IL	0.725	2.8.E-05	3.3	1.5	52,694
30	D107	遮断器	投入失敗	1	94,552	26	JNID/IL	0.434	1.6.E-05	3.3	1.5	94,552
31	D161	空気圧縮機	起動失敗	1	6,588	27	JNID/IL	1.000	2.3.E-04	3.3	1.5	6,588
32	D180	冷凍機	起動失敗	16	3,235	25	EB/PL/KS	<b>2.E-05</b>	6.0.E-03	1.5	16.5	3,220
33	D230	真空破壊弁 (BWR)	開失敗	0	642	7	JNID/IL	—	7.8.E-04	8.4	0.5	643
34	D231	真空破壊弁 (BWR)	閉失敗	0	642	7	JNID/IL	—	7.8.E-04	8.4	0.5	643