

『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¹「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"> ■ <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) ■ <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) <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い。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"> ■ 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す（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。 ■ 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。

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、現行のままで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²、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³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 (http://www.nuciac.jp/nuciac/kn/KnTop.do) 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"> ・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 ・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、 ・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 <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 https://nrcc.denken.or.jp/kisnrr/index.do)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"> (1) 起動に失敗する FTS(Failure To Start)の起動失敗確率 (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 (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 <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"> ■ S. A. Eide, <i>et.al.</i>, “Industry Average Performance for Components and Initiating Events at U.S. Commercial Nuclear Power Plants,” NUREG/CR-6928, U.S. NRC, 2007. ■ (NUREG/CR-6928 のアップデート評価のウェブサイト) https://nrcoe.inl.gov/AvgPerf/ ■ S.A. Eide, “Historical perspective on failure rates for US commercial reactor components,” Reliability Engineering and System Safety 80 (2003). <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, <i>et.al.</i>, “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「x 時間以内の継続運転失敗」と「x 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（x 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-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-II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³(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"> ・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 ・「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 ・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 <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>