

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

| No | 項目 | 気付き事項 |
|----|-----------------|--|
| 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、当該事業者に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には現実的でなく、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、適切性な故障率が導出されないおそれがある。</p> |
| 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> |
| 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> |
| 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 I は推定が良い)。</p> |
| 5 | 故障モードのデータの範囲 | <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> |
| 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り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 1 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> |
| 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・判定するとしているが、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> |
| 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> |
| 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経由して 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は地震 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> |
| 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> |

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)

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)