

本資料は2017年5月27日付で技術諮問委員会より提出された報告書を原子力リスク研究センターにて仮訳したものです。正式な報告書は英文版の原文のみとなりますのでご注意ください。

原子力リスク研究センター 技術諮問委員会
一般財団法人 電力中央研究所
〒100-8126 東京都千代田区大手町 1-6-1

2017年5月27日

ジョージ・アポストラキス博士
一般財団法人 電力中央研究所
原子力リスク研究センター所長
〒100-8126 東京都千代田区大手町 1-6-1

件名： PRAのための人間信頼性解析（HRA）実施ガイド

アポストラキス博士殿

2017年5月22日～26日に開かれた第7回原子力リスク研究センター（NRRC）技術諮問委員会にて、NRRC職員の代表者と、日本の原子力発電所の確率論的リスク評価（PRA）のための人間信頼性解析（HRA）手法を改善するガイドの現状について議論した。本レターは、ドラフト「PRAのための人間信頼性解析（HRA）実施ガイド」に関するレビュー結果を文書化したものである。

結論と提言

1. 本ドラフトガイドは、日本の原子力発電所のPRAにおいて最新HRA手法を適用するための重要なマイルストーンである。
2. 本ガイドを発行して試用する前に、以下の提言事項に対処することを推奨する。
 - できる限りこれらの方法を使用して、PRA起因事象頻度を定量化するモデル、レベル1プラント応答モデル、およびレベル2シビアアクシデント緩和モデルにおける人員の行動を評価することを推奨する。
 - ガイドでは、どのように現実的なシナリオタイムラインを決定するのか、タイムラインではどのような種類の情報を記録すべきなのか、また、定性的評価・運転に係る叙事知¹・人的過誤確率（HEP）の定量化の過程においてタイムラインをどのように使用するのかを記述することを推奨する。

¹ NRRC訳注：人間が過誤に至るまでの文脈を重視した人間信頼性解析において、現実には即した情報と人的応答の理解に基づいた定性分析手法の概念を意味する「narrative」の訳として「叙事知（じょじち）」という造語を当てはめている。

- ガイドでは、「時間不確実さ評価」を実施する方法、およびシナリオ別HEPの定量化における同評価の根拠を示す方法について記述することを推奨する。
- 運転員インタビューから得られる情報を補足するため、ガイドを改良し、慎重に選択されたシミュレータシナリオ訓練の観察に一層の重点を置くことを推奨する。運転員の重要な行動に関するシミュレータ訓練も実施し、現実的なシナリオ時間ウィンドウ（遅延時間、行動を取る時間、現場に到着する時間など）を確認することを推奨する。
- ガイドの附属書Gに、逸脱シナリオを策定し、実際のHRAに適用する方法を示す具体的事例を1つ以上記載することを推奨する。

背景

2014年11月1日付のレター報告書で、NRRRC職員が米国原子力規制委員会（NRC）および米国電力研究所（EPRI）との共同研究の可能性を探り、IDHEAS（Integrated Human Event Analysis System）手法の完成および試験的实施に寄与すべきだと提言した。こうした改良は、過去に日本の電力会社で使用されていた従来型のTHERP（Technique for Human Error Rate Prediction）手法を置き換えるために必要とされているものである。

現在改善が進められている日本の原子力発電所のPRAに対する短期的なニーズに対応するため、NRRRCは、IDHEAS手法の重要な要素をEPRI HRA Calculatorの定量化ツールと組み合わせた暫定ドラフトガイドを策定した。

議論

本ドラフトガイドは、日本の原子力発電所のPRAにおいて最新HRA手法を適用するための重要なマイルストーンである。国際ベンチマーク調査の経験から、複雑な変動シナリオにおける人員行動の役割を、一貫性を持って把握するにあたり、構造化された定性的評価が重要であることが強く認識されてきた。シナリオとしての運転に係る叙事知の作成は、解析プロセスの重要な要素である。実際面でも、叙事知はシナリオの理解を明確化し、認知活動に重大な影響を及ぼしうる要因の体系的評価に必要な文脈を提供する。NRRRCのガイドは、定性的な評価および運転に係る叙事知についてのIDHEAS手法における最新の概念を、CBDTM（Cause-Based Decision Tree Method）と組み合わせ、EPRI HRA Calculatorを使用してシナリオ別のHEP（人的過誤確率：Human error probability）を定量化するというものである。

NRRRCガイドに定量的評価および叙事知に関して、総合的なガイダンスと参考事例を記載することはきわめて重要である。なぜなら、解析者がHRA手法のこれらの要素に関する経験に乏しいためである。ガイドを発行して試用する前に、以下の提言に対処することを推奨する。

ガイダンスの範囲 (スコープ)

ドラフトガイドでは、ガイドの適用範囲が、プラント運転中に発生する内部起因事象に関するレベル1 PRAの起因事象発生後の人的過誤事象 (HFE) のみに限られるとしている。このスコープは不必要に制約的なものになっている。日本で策定中の改良版PRAは、最新の手法を使用して、プラント別の固有のサポート系の機能不全によって生じる起因事象の頻度を定量化するものである。それらのモデルの一部は、プラントトリップの発生を防ぐ人員行動 (予備ポンプの始動、換気系の系統構成変更など) を評価する。改良版PRAには、シビアアクシデント時の閉じ込め性能および敷地外放出に関するレベル2モデルも含まれる。それらのモデルは概して、事故進行の修正や、その結果の緩和に関連して (圧力を低下させる、格納容器隔離弁を閉じる、および耐圧ベント経路を開くなど)、人員行動を評価するものである。

起因事象モデル、炉心損傷防止のためのレベル1モデル、およびシビアアクシデント緩和のためのレベル2モデルにおいては、人員行動に同じ機能特性がある。それらの行動は通常、シナリオ固有のきっかけによって開始され、認知決定や機器操作を必要とし、変動するプラント状態によって決定される時間ウィンドウの範囲内で完了されなければならないもので、多くの場合は書面の手順その他何らかの構造化されたガイダンスで裏付けられている。NRRCガイドの定性的および定量的な解析は、シナリオ全体を通じてこうした行動の多くに直接適用できるものでなければならない。同じHRA手法を使用することで、起因事象モデル、レベル1モデル、およびレベル2モデルにおいて順次評価される連続シナリオ内部の境界部分で適用すべき最適な手法に関して、不注意により一貫性を損なうことや、解析者が混乱することを回避できる。

レベル2 PRAモデルにおける一部の行動は、緊急時運転手順と比べて大まかな記述となっているシビアアクシデント管理ガイドラインなどのガイダンスに基づき、監督者から指示されることがある。これらの行動にはHRAの定性的評価およびシナリオタイムラインが適用されるが、HEPを定量化するには何か他の方法が必要になる可能性がある。特に、HRA Calculatorの定量化モデルは、綿密に策定された手順に基づき指示される行動に最も適用しやすい。

NRRCガイドでは、これらのHRA手法が、初期異常状態からシビアアクシデント緩和まで、事象シナリオ全体にわたって人員行動に適用されることをできる限り示すべきである。代替的な定量化モデルが必要となる場合には、レベル1およびレベル2モデルにわたるシナリオでの人員行動を評価するにあたり、それがチームとしての行動特性や総合的な認知意思決定に影響を及ぼす要因を一貫して説明するものとなるように、ガイドで解析者に注意を呼びかける必要がある。

シナリオタイムラインのガイダンス

ドラフトガイドでは、どのようにシナリオタイムラインを策定すべきなのか、タイムラインではどのような種類の情報を記録すべきか、また、定性的評価・運転に係る叙事知・HEPの定量化の過程においてタイムラインをどのように使用するのが

記述されていない。これらの情報をガイドに盛り込み、解析者がその重要性和HRA手法全体との関連性を十分に理解できるようにすることが極めて重要である。

シナリオタイムラインを策定し、文書化することは、定性的評価および運転に係る叙事知に不可欠な要素である。タイムラインは、HRA Calculatorのいくつかの入力パラメータを定義するためにも使用される。経験から、現実的なタイムラインの策定がPRAモデルにとって中心的な意味を持つことが分かっている。これにより、解析者がイベントツリーとフォールトツリーモデル、事象のタイミングと機能成功基準に関する情報をもたらす熱流解析、および人間信頼性解析に取り組むにあたり、シナリオ進行と人員のパフォーマンスに関する運転の文脈を、一貫性を持って理解できるようになる。

NRRCガイドでは、プラント別の最良推定値による熱流解析を使用して、シナリオ進行を評価することに重点を置くべきである。タイムラインによって、人員行動に影響を及ぼしうるプラント条件およびきっかけ（圧力、温度、水位、警報など）の現実的なタイミングを明確に特定する必要がある。タイムラインでは、プラント条件がモデル化した行動の成功を機能的に妨げてしまう状態に達する時点を明確に特定する必要もある。これにより、タイムラインを使用して、機能的時間ウィンドウの合計、顕著なきっかけが生じる時点、人員が対応するために利用可能な時間（ T_{avail} ）、および必要な認知決定および機器操作を完了するために必要な時間（ T_{reqd} ）などの重要パラメータを一貫して評価することができるようになる。事象シナリオのタイミングおよび機能的成功基準を注意深く説明することで、モデル化された行動を明確化し、総合シナリオでの複数の行動がどのように相互作用するかを例示することもできる（連続的である、平行する、部分的に重複するなど）。

時間不確実さ評価

IDHEASの一般手法および米国でのその最初の適用に関するガイダンスは、 T_{avail} および T_{reqd} の不確実さの評価がどのようにHEP全体に影響を及ぼすかを説明している。特に、HEPでは、 T_{reqd} が T_{avail} を超えること、すなわち行動を間違いなく完了するために必要とされる時間が不足するという可能性を考慮する必要がある。経験から、利用可能な時間ウィンドウが比較的短いシナリオ、人員の対応時間に大幅なばらつきを生む要因があるシナリオ、または、人員が所期の最終状態（指定された最大速度で冷却し、圧力を低減するなど）を達成するため、長い時間と注意を要する行動を取らなければならないといったシナリオでは、この考慮事項がきわめて重要になることが分かっている。

実際に、全体のHEPでは、以下の一般的公式に従い、この「時間不確実さ評価」を考慮している。

$$HEP = P_t + (1 - P_t) * P_c$$

ここで公式の変数は以下の通り。

HEP = 行動に対する全体的な人的過誤確率

- Pt = 時間の不足に起因する人的過誤確率
Pc = 認知反応および実施に起因する人的過誤確率

この公式では、Ptは、行動を完了するために必要な時間 (T_{reqd}) が利用可能な時間 (T_{avail}) を超える可能性に相当する。 $T_{reqd} > T_{avail}$ となる可能性は、HEPへの直接的寄与となる。因子 $(1 - Pt)$ は、行動を実施するために十分な時間を利用できる可能性に相当する。項Pcは、HFEへの認知反応および実施行動を評価する解析で定量化される。

この枠組みは、NRRCガイドに記載された定量化法にも直接的に整合するものである。特に、CBDTMモデルは、行動を完了するために必要な時間を常に利用できる ($T_{avail} \geq T_{reqd}$) と仮定する。利用可能な時間的余裕は、行動の種類とシナリオ進行によって異なる。その時間的余裕は、CBDTM定量化モデルのいくつかのパラメータの評価に影響を及ぼす。しかし、それらのモデルおよびパラメータは、余裕が常にプラスであることを前提としている。そのため、この「時間不確実さ評価」枠組みを実施するにあたって、ドラフトNRRCガイドにおけるHRA CalculatorでのCBDTMモデル使用に関する記載を修正する必要はない。

運転員インタビューおよびシミュレータ訓練観察の使用

ドラフトガイドは、プラント運転員および訓練担当者へのインタビューを実施し、シナリオ、予想される人員行動、手順ガイダンス、および当直課長と当直メンバーの間のやり取りに関する解析者の理解を裏付けて確認することの重要性を強調している。ガイドには、インタビューを円滑にし、文書化するための具体的な質問とテンプレートのドラフト版が含まれている。また、インタビュー結果を使用して、HRA Calculatorへの入力情報を準備する方法の事例も記載されている。

経験から、厳しいシナリオについてシミュレータ訓練を実施して人員の振る舞いを観察することは、きわめて有益であることが分かっている。インタビューの質問では、複雑な事象にどう対応するかについて、答えを得ようと思ってもうまくいかないこともある。現実に進展するシナリオを観察することで、人間相互のやりとり、手順書の使いやすさ、警報の密度および種類とそのタイミング、注意を乱す事象や矛盾する優先順位など、当直チームの振る舞いに影響を及ぼす要因について重要な側面が明らかになる可能性がある。これらの観察は、インタビューから入手できる情報を裏付け、補足するために大変貴重である。

ドラフトガイドでは、解析者がPRAシナリオを用いたシミュレータ訓練の実行中に当直チームの振る舞いを観察すべきであると指示している。附属書Cの解析事例には、フィードアンドブリードの基本ケースシナリオを観察することで得られる情報が記載されている。ただし、ドラフトガイドは、運転員インタビューとの比較においてこれらのシミュレータ訓練の重要性を十分に強調しておらず、また、当直チームの反応を見るために最も役立つ、厳しいシナリオを選択するかに関するガイダンスも示していない。ガイダンスの改良にあたっては、運転員のインタビューから得られる情報を補足するため、慎重に選択されたシミュレータシナリオの観察に一層の重点を置く必要がある。

変形（逸脱）シナリオのガイダンス

ガイドでは、通常の基本ケースシナリオとは異なる影響を人員のパフォーマンスに及ぼしうる状況に対して、「変形シナリオ」および「逸脱シナリオ」という用語を特に区別なく使用している。逸脱シナリオに関する議論は概念上、幅広いものになっているが、この点はさらに明確にした方が良いように思われる。解析者が、これらの概念はどのようなものであるのか、また、実際にどのように適用するのかを理解することが重要である。ガイドの附属書Gでは一般的な議論を拡大しているが、逸脱シナリオがどのように策定され、現実的なHRAに適用されるかを説明する事例は記載されていない。

附属書Gに、解析者がこれらの概念をどのように使用できるのかを示す説明事例を1つ以上記載すべきである。特に、附属書Cで策定されたフィードアンドブリードシナリオを拡大し、1つ以上の逸脱シナリオが基本ケース解析からどのように派生するかを説明することが非常に有益である。この事例では、機器の故障タイミング、きっかけの入手可能性、および手順書の使用などに関する各種の条件により、定量化されたHEPに影響を及ぼす要因がどのように変化するかを示す必要がある。また、解析者が現実的なHRAでこれらの問題にどう対処するかに関する実用的な選択肢（最も保守的なHEPを使用する、確率論的に重み付けされたHEPを使用する、イベントツリーまたはフォールトツリーを修正するなど）についても説明する必要がある。

ガイダンスが完成し、最初の試験的適用がなされるのに合わせて、このベンチマークNRRRCプロジェクトを引き続きレビューしていきたい。

敬具

ジョン・W・ステットカー（本人署名）
委員長

参考資料
記載略