2022年春の年会

ヒューマン・マシン・システム部会セッション

PRA における人間信頼性解析の現状と課題-
Human Reliability Analysis in PRA: Current Status and Issues -

（1）PRA における HRA の課題

(1) HRA Issues for PRA Improvement

*氏田　博士[1]
[1]環境安全学研究所、アドバンスソフト（株）

1.　PRA における人間信頼性解析の重要性

確率論的リスク評価（Probabilistic Risk Analysis, 以下 PRA）に関して主に技術的な内容について、学会誌で解説を行ってきた。連載第 1 回で、最も重要な技術的な課題として指摘されている人間信頼性解析（Human Reliability Analysis,以下 HRA）であるが、その内容が第 5 回まで解説されてきた PRA の「技術的」な側面とは大きく異なるために、PRA の中でもその扱いが難しくいまだに多くの課題が残っていると言わざるを得ない。以下、第 6 回の HRA の解説に従って説明すれば[1)]、HRA の目的は、PRA のイベントシークエンスに含まれる人間（運転員）の行動の信頼性（逆に捉えればエラー確率）を推定することである。PRA において人間は一つの機械的な「システム」として扱われ、一定の割合で「エラーを犯す」（故障する）存在としてモデル化されている。原子力発電所においては通常操作時の自動化のレベルは他産業のプロセス系のシステムに比べて高いとは言えないが、異常発生時の安全系の動作に対しては高いレベルで自動化されていると考えることができる。しかしながら、シビアアクシデントの対応等においては、特定の条件が成立したときに運転員が行うことが期待される操作は依然として数多く残っており、運転員の操作の信頼性が最終的な炉心溶融確率（CDF）に与える影響は少なくはなく、PRA の結果に対して HRA が寄与する割合は 60−80％程度であると言われている。このように PRA の結果に対して非常に大きな寄与をしている HRA であるが、人間の挙動を扱うという意味で純粋な工学的なフレームワークとは異なる専門知識が要求されるため、現場での HRA を正しく理解して適用できる人材は極めて少ないのが現状である。

ここで予め強調しておく必要があることは、HRA に関する技術的な課題が解決さえすれば精度の高い人間信頼性の定量的な値を得ることができるわけではないという点である。PRA において CDF を決める主要要素となっている機器故障率に関しては、経験的なデータをより多く収集することで精度を高めることができる可能性はあるが、HRA のベースとなる人間の過誤率(Human Error Probability, HEP)に関しては、人間が持つ本質的な多様性・ランダム性から不確実性を含むことを避けることはできない。信頼性工学の分野では機器故障率に関しては「バスタブモデル」等の故障発生のモデルが提唱されているが、同様に人間が犯すエラーを説明するためのモデルとして「ヒューマンモデル」が提唱されている。しかしながら、このヒューマンモデルは定性的な人間の認知行動を説明するための「概念モデル」であり、工学的な意味での「機器故障」を説明するモデルとは全く異なるものである。

以上述べたように、工学システムにおける機器故障の発生とは本質的に異なる「人間のエラー」を PRA という一つの体系の中で扱うことの難しさは初期の PRA 研究者の間では共有されていたが、現在では PRA の中での HRA の重要性の認識は低いと言わざるを得ない。PRA の結果として得られるリスク情報に含まれる不確実性の大部分が HRA の結果の不確実性に起因するものである。不確実性があることを前提にしてリスク情報を活用することが、リスク情報に基づく意思決定（Risk Informed Decision Making, RIDM）の考え方の基本であるが、そのためには HRA における分析手法に関しての十分な理解が必要である。

2.　人間信頼性解析の現状と研究開発動向

2-1. HRA の種類

米国の NRC では、およそ 300 種類の HRA のための認知モデル（観察-判断-意思決定の過程を説明する情

報処理のモデル））に関する網羅的なサーベイを実施している[2]。このサーベイではマクロ認知モデル（人間挙動の全体を説明するモデル）とミクロ認知モデル（認知メカニズムを検知、認識、意思決定、行動、チームワークに分けてそれぞれを説明するモデル）に分類し評価を行っているが、どのモデルが良いかという判断はしていない。HCR・ORE のモデルと実験手法の開発者の一人である Spurgin は 20 種類程度の HRA をタスク、コンテキスト（文脈、これまでの経緯や周囲の環境条件等の状況のこと）、時間に基づくモデルに分類しているが、これもまた優劣を比較するものではない[3]。年代で見ると、タスクに基づく第 1 世代と、これまコンテクスト（その中でも特に認知のメカニズム）に基づく第 2 世代に分けて特徴付けを行うことができる（時間依存のモデルは共通課題）。以上述べてきたように、人間信頼性解析手法のベースとなる様々なモデルが提案されてきたが、未だに「群盲象を評す」状態であり、ベストのモデルを一つ選べるような状況にはなっていないのが現状である。

2-2. HRA 手法の結果の比較

近年 HRA 手法としてよく使われている最新の手法である、8 種の認知メカニズムに共通のデシジョンツリーを使用する CBDTM（Cause-Based Decision Tree Method）を中心の手法とする EPRI 手法、EPRI と NRC が共同開発した（認知+操作）タスクの 14 種のクルー失敗モードに共通のデシジョンツリーを使用する IDHEAS（Integrated Human Event Analysis System）手法、そして最も古いが未だによく用いられる THERP 手法の比較が行われている[4]。この 3 つの手法で全く同じ事故シナリオを解析した結果の比較により、手法により捉えている認知のメカニズムが異なりその結果のエラー率の数値も大きく異なることが示されている。タイプの異なるシナリオを対象にした場合の結果も大幅に異なっていた。操作エラーの推定においても、THERP 手法では手順書ベースで個々の機器の操作を評価しているが、IDHAES 手法ではタスク（一連の操作）の人間特性を評価しているため同じ事故時対応操作でも評価が異なる。

2-3. HRA 手法の結果と実験の比較

NRC と Halden による Comparison Study によると、HRA の結果は手法の計算結果だけでも実験結果だけでもさらにモデルと実験の結果の傾向比較でも、評価結果が大幅に異なること示されている[5]。6 つの事故シナリオの計算結果を比較しているが、手法による計算結果のばらつきが 3 桁近くある。そのうち 3 つのシナリオでは実験との比較も示されているが、実験結果にも 3 桁ほどのばらつきがある。この結果は、人間の対応特性におけるコンテキスト依存性の大きさを適切に捉えられていないことが原因と考えられ、実験では認知過程とコンテキストのより深い理解が、モデルでは認知のメカニズムとコンテキストへの依存性を考慮した評価手法の開発の必要性が指摘できる。

2-4. 研究開発動向

人間信頼性解析の分野では、現状の解析評価技術の拡張、データ収集或いはデータベース構築、簡易手法の開発、外部事象への適用といった課題があると考えられる[6]。

運転員の判断や操作等のタスクを見る THERP 等の第 1 世代、コンテクストを見る ATHEANA 等の第 2 世代の評価手法はほぼ確立している。加えて、最近、第 2 世代の考え方を取り入れた簡易手法として IDHEAS 等の第 1.5 世代の手法も開発されている。しかし、人間の認知メカニズム(対応の成否は認知のうち意思決定の要素に強く関係する)やコンテクストの依存性が、人間行動の成否を決定つけることが認識されてきており、タスク分析手法の確立が課題であり、これとリンクする形でのデータ収集も重要である、との指摘がある。

また、これまでの適用範囲（内的事象）に加えて、外的事象等（地震、津波、火災）、マルチユニット（マルチサイトも含む）PRA（MUPRA）、デジタル中央制御室（DMCR）への適用先拡大も検討されており、手法の拡張が進みつつある。今後とも国外新手法の調査を継続し国内適用を検討することが望まれる。但し、国外新手法の国内適用時には、国内の各サイトで訓練データを収集し、収集した国内データを用いることで精度向上を目指す必要がある。

3. 人間信頼性解析の課題

3-1. チームや組織の扱いを HRA に取り込む

米国の NRC による HRA のための認知モデルを網羅的にサーベイした（おおよそ 300 のモデル）中には、チームワークやコミュニケーションやリーダーシップの扱いも含まれている [5]。 NRC と日本の実験の認知過程（実行時間）の比較及び運転クルー応答（実行タスク数）の比較のための逃し安全弁開固着の時間応答曲線によれば、運転クルーの形態が HRA に大きく影響を及ぼすことが明らかになっている [7]。この結果はチームや組織の信頼性解析の研究の必要性を示している。解析実現に向けたアプローチとしては第 2 世代 HRA と同様に、状況認識としてチームや組織の環境条件を評価し、チームや組織過誤に導くコンテクスト（TFC, OFC）を考慮することにより、その状況において最適な方策を採るという作業仮説をおくことで、チームや組織における個人の行動を予測できると考えられる。絶対的な合理性でなく、資源制約の下に入手しうる情報と知識に基づき得られる最善の合理性、制約された合理性における決断であると見なす。

深層防護の誤謬-安全文化の劣化-組織事故のリンクが大事故の根底にあり、この要素を取り扱わないと PRA としてまた HRA として片手落ちだという認識がある。デイビスベッセトラブルや JCO 事故、そして福島第一原発、さらには各種の隠蔽改竄の不祥事の背景を考えると避けては通れないテーマであり、今後議論すべき重要な課題である [7]。

3-2. 安全への人間のポジティブな寄与

近年、安全の分野において Safety-II と呼ばれる考え方が注目を集めている。その中心となる考え方は人間はシステムが要求する定められた役割を果たすだけの存在ではなく、人間が適切に振る舞う事により「成功」がもたらされるという認識である。人間がシステムと相互作用しながら機能する社会技術システムが安全性を保ちながら機能して行くためには、人間の関与が決定的に重要だち考えている。従来の HRA の基本的なスタンスは、人間は過ちを犯す事が避けられない存在であり、システムの安全に負の影響を及ぼすだけの存在としてとらえているが、安全なシステム動作を実現させる上で人間は遥かに多くポジティブな寄与をしているということを評価すべきである。事故を防ぐ方向での「運転員の主体的な行動」は、必ずしも行うことを保証することはできないから、ヒューマンクレジットとして考慮しがたいという考え方もある。確かに「CDF の値はこのくらいである」ということを示すことは重要であるが、同時に人間のポジティブな寄与により「この程度の値までは減少させられる可能性がある」ということを示すことも重要なのではないだろうか。リスク情報の活用を考える場合、人間がエラーを犯すだけの存在とモデル化した場合の CDF をどのようにして減らすかという観点と並行して、人間のポジティブな寄与を広げることで CDF の値を更に減少させうることを示すこと PRA の一つの役割と捉えるべきであると考える [1]。

1) 高橋、氏田、良く分かるPRA～うまくリスクを使えるために～、第6回人間信頼性解析の現状、原子力学会誌、202.
2) U.S. Nuclear Regulatory Commission, Cognitive Basis for Human Reliability Analysis, NUREG-2114, 2016
3) アンソニー・J・スパージン,人の間違いを評価する科学 -人間信頼性評価とは,星雲社,2013.
4) 氏田、人間信頼性評価データ収集、原子力学会　2019年春の年会、リスク部会/HMS部会　合同セッション「確率論的リスク評価における人間信頼性評価」.
5) U.S. Nuclear Regulatory Commission, The International HRA Empirical Study, Lessons Learned from Comparing HRA Methods Predictions to HAMMLAB Simulator Data, NUREG-2127, August 2014.
6) 日本原子力学会、「確率論的リスク評価の活用及び手法調査」 研究専門委員会　活動報告書、令和3年3月.
7) 氏田、柚原著、『システム安全学-文理融合の新たな専門知』2015.9、海文堂出版　ISBN-13:978-4303729837.

*Hiroshi Ujita [1]
[1]Institute for Environmental and Safety Studies, AdvanceSoft Corporation