

(様式 2)

学位論文の概要及び要旨

氏 名 真塩 健二 印

題 目 人間信頼性分析手法との調和を考慮した人間工学設計開発手法の確立

学位論文の概要及び要旨

原子力発電所では、安全で効率的な運転を実現すべく、人間工学を適用した制御室の設計開発を行っている。具体的には、プラント／系統機器の性能や制約条件のもと、制御室で監視操作タスクを行う運転員の体制や能力／限界を理解し、運転員のパフォーマンスを最大限に生かすよう、制御室設計開発プロセス（人間工学プロセス）に基づき制御室の設計開発を行っている。

人間工学プロセスは、人間工学分析結果を要件として、設計や検証を行い、検証／妥当性確認において十分なパフォーマンス評価が得られない場合は、分析の想定や設計の見直しを行う。人間工学プロセスうち、ヒューマンエラー未然防止のための方策は、人間信頼性分析（Human Reliability Analysis、以下 HRA という）の結果から、リスク上重要な人的操作（Risk Important Human Action、以下 RIHA という）を抽出して、これらの RIHA についてタスク分析等の人間工学分析を行い、中央制御室開発を行っている。現状の枠組みでは、RIHA を重要度指標といった閾値により抽出するが、その背後にある想定条件（ヒューマンエラー因子、行動形成因子）を考慮した体系的な設計プロセスフレームワークがなく、設計者の経験値や見識に依存するところが多いとの課題があった。

一方、近年、HEP の精度を高めることを目的に、第三世代 HRA では、原子力発電所の運転員の認知プロセスを標準化（マクロ化）した、Macro-cognitive Model を導入し、HEP を算定するための想定条件（ヒューマンエラー因子、行動形成因子等）の抽出を含め、分析の体系化が検討されている。このことから、HRA をヒューマンエラーマネジメント／分析としてとらえ、当該フレームワークを活用して、HRA での想定条件を体系的に既存の設計プロセス（人間工学プロセス）に取り入れることにより、HRA での想定条件を、制御室設計開発に体系的に展開することができ、より信頼性のあるヒューマンエラーの未然防止を設計で考慮できる可能性がある。

本論文では、第三世代 HRA の体系的な手法に着目し、Macro-cognitive Model を人間工学プロセスでも適用し、HRA の想定条件を体系的に制御室設計プロセスに展開する検討を行った。

具体的には、当該 Macro-cognitive Model の中で考慮される行動影響因子やヒューマンエラーモードを設計開発プロセスに取り込む手法の開発、第三世代 HRA をさらに網羅性あるシナリオ開発につなげる STAMP/STPA 手法をベースとしたヒューマンコントローラモデルの適用などの研究を行った。

まず、本研究の対象である、原子力発電所分野における人間工学プロセス、HRA の開発経緯を纏めるとともに、関連するヒューマンエラー分析、関連研究について整理するとともに、現状の人間工学プロセスの課題について纏めた。

次に、第三世代 HRA の想定を人間工学プロセスに取り込む手法の開発とその実践適用について検討した。具体的には、Macro-cognitive Model の中で考慮される行動影響因子やヒューマンエラーモードを設計開発プロセスに取り込む手法について検討し、また、具体的なシナリオを用いて、その実践的有効性について検証した。

さらに、第三世代 HRA をさらに網羅性あるシナリオ開発につなげる STAMP/STPA 手法をベース

としたヒューマンコントローラモデル(Human Controller Model, 以下 HCM という)の適用について検討した。HCM で有効なものは、非安全シナリオを制御側/非制御対象間のインタラクションプロセスを考慮して可能性のある事象として体系的に捉えられることを示し、HRA での行われるシナリオベースでは網羅的に得られないヒューマンエラーの抽出を補完することに効果があることを示した。

また、上記の確率論的リスク分析結果においては多くのリスク対策が必要となる一方、プラント安全に決定論的に寄与するエラー対策に対して、優先順位がつけられなくなる可能性がある。したがって、決定論的安全機能分析の結果を、従来の決定論的な段階的詳細化設計開発プロセスに重畳的に適用するトップダウン的マンマシン設計プロセスの導入と効果について検討した。具体的には、Function model を用いた、プラント安全機能を維持、達成するために不可欠なプラント系統機器系統モデルを制御室設計入力情報として直接適用し、制御室運転員の安全機能の状況認知を向上させる。

これにより、現状の人間工学プロセスで行われるタスク分析やリスク情報から得られるヒューマンエラー対策（ボトムアップ的対策）では得にくい、コミッションエラー（Error of Commission, EOC）に対する対策を図ることができることを確認した。

最後に、現在の机上評価では得られないヒューマンエラーモードや特定の制御室仕様や作業環境下で発生する、潜在的なヒューマンエラー率を特定するため、運転訓練シミュレータを用いた運転員訓練において、運転員のパフォーマンスを定量的な手段により測定し、その測定データから、Macro-cognitive レベルで、達成度やヒューマンエラー率を自動的に評価するシステムを開発し、プロトタイプ機を作成し、PWR 型原子力発電所のシミュレータ、運転シナリオによる検証を行った。評価は、従来の手動による評価と比較し、従来は定量的な測定が難しい Macro-Cognitive レベルについて精度よく測定できたこと、また、自動判定結果が、手動による評価と一致していることを確認し、当該自動評価システムの有効性について確認した。

以上