

安全研究成果報告（案）

説明資料

人間工学に基づく人的組織的要因の体系的な分析 に係る規制研究

事後評価 説明資料

令和4年4月

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ
シビアアクシデント研究部門

目次

1. 背景・目的
2. 研究概要
3. 研究期間を通じた主要成果
4. まとめ
5. 成果の活用について
6. 成果の公表等
7. 成果目標に対する達成状況

1. 背景・目的

- ・ 機械系、人間系及び組織系(運転員、保守作業員、検査員、運転チーム等)で構成される原子力施設において、機械系と比較すると、人間系・組織系は、自律性や柔軟性、緊急時の対応能力等に優れる一方、そのパフォーマンスにはばらつきが大きく不安定な面がある。原子力施設の高い安全性及び信頼性を確保していくためには、そうした人間や組織の特性を踏まえて人的過誤の発生を低減し、人間の信頼性を向上させることが重要である。

- ・ 原子力規制庁は、事業者が行うソフト面に関する安全確保のための活動を評価するために、人間工学に基づく人的組織的要因の体系的な分析について、以下を踏まえて検討を行ってきた。

- 総合規制評価サービス(IRRS)における我が国規制課題の明確化

平成28年1月に原子力規制委員会に対して実施されたIAEAのIRRSにおいて、「原子力規制委員会は、すべての原子力施設について、プラントの設計に関する人的組織的要因と人的過誤に対する体系的考察が、許認可取得者による提出書類において行われることを確かなものとするための規制要件と、これを評価するための能力及び経験を有する原子力規制委員会の資源を十分なものとするについて検討するべきである。」と指摘されている。原子力規制委員会はこの提言を受け、人的組織的要因を設計段階で体系的に考慮することをIRRS課題の一つとして設定している。

2. 研究概要

・ 先行研究プロジェクト (H26年度～H30年度) では、関連する規制や技術の最新動向の調査を実施し、我が国の規制制度等との比較を実施した。また、その結果を踏まえ、設計・運転段階に関する人間工学設計の評価プロセスを確認する基本的な観点を取りまとめた。一方で、人間とプラントの相互作用を扱う人間工学では、重大事故時等に関する不確実な状況に対応する人間の複雑な認知行動を評価する方法等の知見が不十分であることを技術的な課題として見いだした。

・ 本研究プロジェクト (R元年度～R3年度) では、先行研究プロジェクトの知見を踏まえ、重大事故時等の不確実な状況の対応に関する人間の複雑な認知行動を評価する方法の技術的知見を取得するために、以下の2つの研究項目を実施した。

(1) 重大事故時等の対応に関する原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の取得

(2) 重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備

3. 研究期間を通じた主要成果

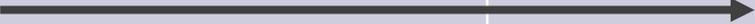
3.1 重大事故時等の対応に関する原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の取得

3.2 重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備

3.1 重大事故時等の対応に関する原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の取得①

1. 実施内容

重大事故時等においては、プラント状況の不確実性が増し、事故の進展推移も多様化するとともに、人間の対応にも複雑な認知的能力が求められる。本研究項目では、人間工学設計の評価手法と人間信頼性解析技術の調査から人間工学設計の評価における人間信頼性解析の適用に関する考え方を検討した結果を踏まえ、重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価プロセスのフレームワークを示した。

年度	令和元年度	令和2年度
重大事故時等の対応に関する原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の取得	 人間工学設計のプロセス評価のフレームワークの検討	

3.1 重大事故時等の対応に関する原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の取得②

2. 主要成果①

人間工学設計の評価手法及び人間信頼性解析技術の最新動向の調査結果

・IAEA 安全指針SSG-51「原子力発電プラントの設計における人間工学」及び米国NRC NUREG-0711 rev.3「人間工学設計プログラムの審査モデル」に関する人間工学のレビュー要素は、人間工学設計プロセスにおける一般的な段階「計画と分析」「設計」「検証と妥当性確認」及び「施工と運用」により構成されている。両者とも、設計結果として達成すべき機能や仕様を要求するだけでなく、その機能実現に至るまでの、**人間工学の原則に基づいた設計プロセスを体系的に確認するもの**となっており、設計の過程における設計仕様の選択理由や根拠をより明確に評価できることが特徴である。

・米国NRCは、2011年に最新の人間信頼性解析手法としてIDHEAS手法を開発した。IDHEAS手法は人間の発生過程を「**状況認識**」や「**意思決定**」といった**認知的なマクロの単位で、容易かつ平易に分析できるIDA¹マクロ認知モデル**を導入するとともに、認知モデルの表現を客観化、共通化するための各種の定型的なテンプレート用意している。また、米国UCLA²が人間信頼性解析手法としてIDAマクロ認知モデルを導入したPhoenix手法を開発している。

1: Information, Diagnosis, Action (情報収集、診断/意思決定、行動)

2: カルフォルニア大学ロサンゼルス校

3.1 重大事故時等の対応に関する原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の取得③

2. 主要成果②

調査結果の検討結果

・調査結果から、あらゆる人的過誤を考慮した人間工学設計の評価プロセスの検討には、一つの認知的過誤について「運転員は(中略)という要因(why)により(中略)が十分でなかった結果(how)、(中略)という認識をした(what)」といったマクロの単位を用いて文章で表現できるような分解能を持つIDA認知モデルに基づいた人間信頼性解析手法が活用できると仮定した。

・そこで以下に示す観点により、認知的過誤を含めた人的過誤を人間工学の評価プロセスに反映することに着目して、人間信頼性解析を適用した人間工学設計の評価プロセスのフレームワークに係る検討を実施することとした。

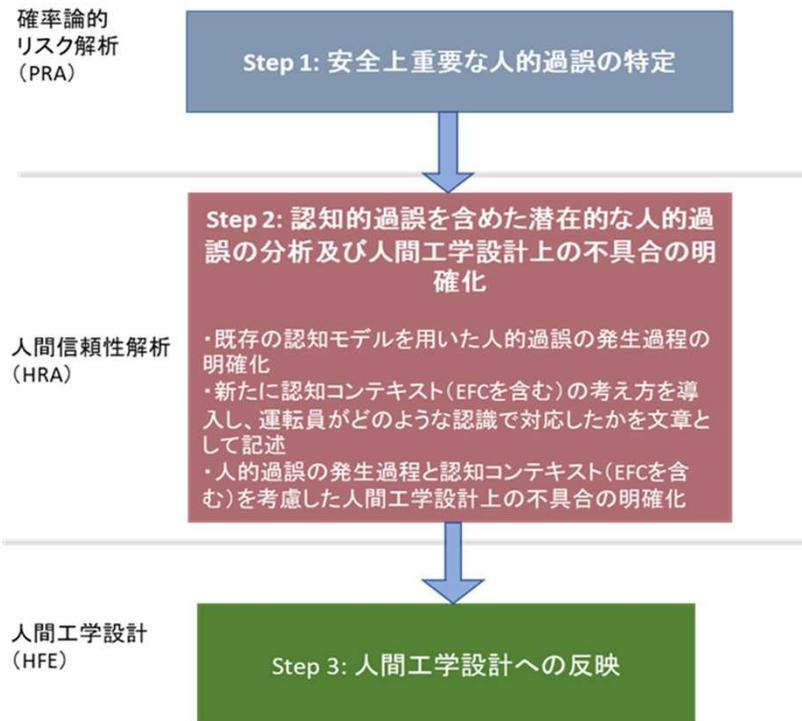
- ①発生する可能性のある人的過誤を、「運転員は(中略)という認識をした」といったマクロの単位を用いて文章で表現できるような分解能で事前に予測する。
- ②人的過誤の発生の予測に基づいて個別かつ具体的な人間工学設計上の不具合を特定する。
- ③人間工学設計上の不具合に対する改善策を人間工学設計に反映する。

3.1 重大事故時等の対応に関する原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の取得④

2. 主要成果③

検討結果を踏まえた重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価プロセスのフレームワーク

- ・ 前項で示した①～③の観点に基づき、重大事故時等の対応に関する人間信頼性解析を適用した人間工学設計の評価プロセスのフレームワーク(手順: Step 1～3)を作成した。
- ・ 手順は、従来の人間工学設計の評価プロセスにおける「重要な運転員操作の扱い」、「タスク分析」及び「設計改善」に着目している。



・ Step 2の手順のポイント

- ✓ 既存の認知モデルに基づいた人間信頼性解析技術を導入することで、認知的過誤を含めた人的過誤の発生過程の分析を行う。
- ✓ 「状況認識」、「意思決定」等のマクロな単位で表現する人的過誤の発生過程について、さらに、運転員がどのような認識で対応したかを文章として記述し（認知コンテキスト）、人的過誤の発生過程及び認知コンテキストの結果から人間工学設計上の不具合を明確にする。
- ✓ 認知コンテキストのうち、想定していないような状況による人的過誤の発生を強く促す特定の認知コンテキストとしてEFC (Error Forcing Context: 過誤誘発コンテキスト) も同時に探索する。

3. 研究期間を通じた主要成果

3.1 重大事故時等の対応に関する原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の取得

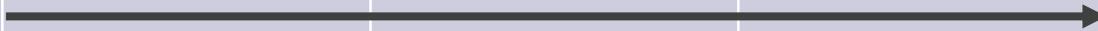
3.2 重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備

3.2 重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備①

1. 実施内容

本研究項目では、

- ・人間工学設計の評価における重要な技術である人間信頼性解析技術を調査し、重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の具体的な方法の手順を作成した。
- ・また、同手法の人間工学設計の評価手法としての適用可能性を、人的過誤事例を対象にして、人的過誤がどのような認知的な因果関係に基づいて発生に至るのかを記述する人的過誤の発生過程及び運転員の頭の中に抱かれるプラント状況の認識やその認識に基づいた対応の意図を個別かつ具体的、客観的に文章で記述する認知コンテキストを中心に検討した。
- ・さらに、同手法について運転員の振る舞い等に関する検査での適用可能性を示した。

年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備	 人的過誤を確認するための方法論の具体化の検討		

3.2 重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備②

2. 主要成果①

IDHEAS手法及びPhoenix手法におけるIDA（I：情報収集、D：診断／意思決定、A：行動）マクロ認知モデル*の詳細調査

- IDAマクロ認知モデルでは、人的過誤の発生過程（CRT, CFM, PIF）として以下の3階層の因果関係から構成されている。
 - 人的過誤の発生内容(what)を表すCRT（Crew Response Tree：運転対応ツリー）
安全機能を達成するための各タスクの成功／失敗パスや、その成功／失敗に至る運転操作の流れを視覚的に表現するもの。
 - 人的過誤の発生メカニズム(how)を表すCFM(Crew Failure Mode：人的過誤の種類)
人間の認知的な振る舞いを大きくI,D,Aの3区分からマクロな機能のまとまりとして19の種類として区分するもの。
 - 人的過誤の発生要因(why)を表すPIF(Performance Influencing Factor:パフォーマンス影響因子)
タスク遂行時の作業環境や心理的な状況を因子として分類設定したものであり、10区分（作業負荷等）から構成される。
- Phoenix手法では、人的過誤の発生要因（Why）に関して、10区分のCFMへの影響についてより詳細に分析するための評価項目（質問票）が用意されている。

*April M. Whaley, Jing Xing, Ronald L. Boring, Stacey M. L. Hendrickson, Jeffrey C. Joe, Katya L. Le Blanc, and Stephanie L. Morrow, “Cognitive Basis for Human Reliability Analysis”, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, Tech. Rep. NUREG-2114, 2016

3.2 重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備③

2. 主要成果②

重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の具体的な方法

- 調査の結果を踏まえ、人間工学設計の評価プロセスのフレームワーク（手順：Step 1～Step 3）について、人的過誤の発生過程を分析する人間信頼性解析手法としてはPhoenix手法を適用することにより、方法の具体化を行った。（具体的な方法については、学術冊子として投稿論文の準備中）
- Step 1では、分析対象の候補となる人的過誤事象の範囲を適切に設定し、設定したPRAモデルについて、基事象（人間が失敗した事象）ごとの人的過誤事象のリスク重要度を定量化する。定量化した人的過誤事象のリスク重要度について、分析対象となる安全上重要な人的過誤事象を特定する。
- Step 2では、前のステップで特定した安全上重要な人的過誤事象を対象に、IDAマクロ認知モデルを適用して、人的過誤の発生過程及び認知コンテキストを特定し、人的過誤の発生に影響を及ぼす人間工学設計上の不具合を明確化する。
- Step 3では、前のステップの分析結果として整理された、人的過誤において発生する可能性がある個別かつ具体的な人間工学設計上の不具合について、その発生を回避するための対策を抽出し、抽出した人間工学設計上の不具合に対する対策の有効性について、V&Vを実施する。

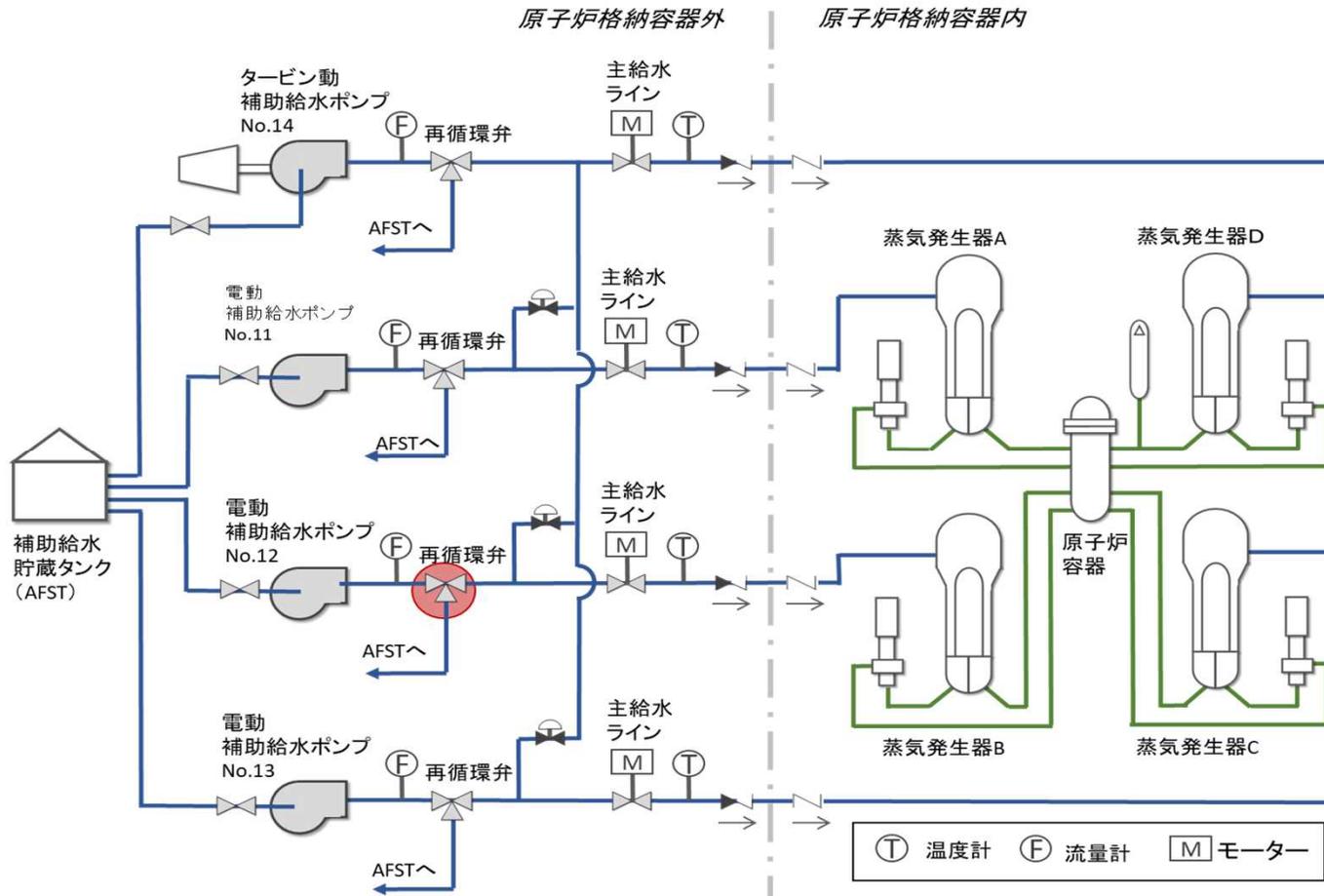
3.2 重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備④

2. 主要成果③

人間信頼性解析手法の具体的な方法の重大事故事例への適用可能性の確認(1/2)

- Step 2における人的過誤の発生過程及びEFCを含む認知コンテキストが明確に記述できるかに焦点を当て、人間信頼性解析手法の具体的な方法の適用可能性を検討した。
- 適用した事故シナリオは、主給水喪失による過渡事象時に原子炉トリップに成功したものの、補助給水の起動に失敗したため2次系ヒートシンクを喪失し、フィードアンドブリードの実施に至る事例である。
- 同手法のうちStep 1の「安全上重要な人的過誤事象の特定」については、本事故シナリオで既に重要な人的事象として「一次冷却システムのフィードアンドブリード失敗」が特定されているため、活用した。
- また、同手法のStep 3の「人間工学設計への反映」については、実際のHSIの設計を変更することができないため実施していない。

3.2 重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備④



補助給水系の概略系統図

3.2 重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備④

2. 主要成果③ 続き

人間信頼性解析手法の具体的な方法の重大事故事例への適用可能性の確認(2/2)

- 一次冷却システムのフィードアンドブリード失敗に関するタスクとして「2次系ヒートシンク喪失対応の手順書（FR-H1）への移行失敗」について、Step 2を中心に潜在的な人的過誤の分析及び人間工学設計上の不具合の明確化を行った（具体的な適用結果については、学術冊子として投稿論文の準備中。）分析した結果、7点の個別かつ具体的な人間工学設計上の不具合としてまとめることができる。（報告書より一部記載）
 - ✓ 重要な安全機能ツリーの表示と蒸気発生器水位制御パネルが空間的に離れている。このため、蒸気発生器水位制御（補助給水系流量の確立）に集中している際にも、重要な安全機能ツリー表示の画面の確認がおろそかにならないように、重要な安全機能ツリーの表示を常に容易に確認できるような人間工学設計上の配慮が必要である。
 - ✓ [EFC関連] 補助給水流量計の位置により、ある特定の場合に蒸気発生器に流入する補助給水系総流量に対する誤解が生じる可能性がある。このため、補助給水流量計がその意図する（運転員が必要とする）プラント状態を適切に表現できるよう、計測する物理量の設計を適切に行う必要がある。
- 以上より、人間工学設計の評価プロセスの手順の具体的な方法として検討したIDAマクロ認知モデルに基づいた人間信頼性解析手法を適用することにより、内の事象（主給水喪失事象）を対象とした場合には、個別かつ具体的な人間工学設計上の不備とその対策を明示することができる。人的過誤の発生を強く促しうる特定のEFCが存在する場合には、特に深刻な事態を招きうるものとして、人間工学設計への反映の検討の材料となることが期待される。

3.2 重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備⑤

2. 主要成果④

人間信頼性解析手法の具体的な方法の検査への適用可能性

認知モデルに基づいた人間信頼性解析技術を用いると、以下の観点から、運転員等の振る舞い等の考え方を把握し、検査を支援することが期待できる。

- 認知モデルに基づく人間信頼性解析技術を整備し、重大事故時等に関する認知過誤を含めた人的過誤に焦点を当てることにより、運転員の振る舞い等を確認する視点の基礎を構築する。これにより、**運転員の振る舞い等を確認する目的を人的過誤というリスクの低減に明確に対応づけることが可能となる。**
- **認知モデルに基づいた人間信頼性解析評価の結果を活用することで、シミュレータによる事故対応の訓練における運転員の振る舞い等を確認することが期待できる。**具体的には、人間信頼性解析評価の分析者は、手法が用意している分析テンプレートに沿って人的過誤の発生過程及び認知コンテキストを明確にし、安全上重要な人的過誤事象に対し、想定される潜在的な人的過誤やその人間工学設計上の発生要因を特定する。発生しうる人的過誤の発生過程の考え方やその人間工学設計上の不具合（例えば、制御盤表示の紛らわしさ、手順書の複雑さ等）を事前に把握することにより、実際に運転員等が制御盤表示を読み間違えていなかったか等を確認する。

4. まとめ

- ・ 研究項目(1)「重大事故時等の対応に関する原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の取得」においては、人間工学設計の評価手法と人間信頼性解析技術の最新動向の調査から人間工学設計の評価における人間信頼性解析の適用に関する考え方を検討した結果を踏まえ、重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価プロセスのフレームワーク（手順）を作成した。

- ・ 研究項目(2)「重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備」においては、人間工学設計の評価における重要な要素技術である人間信頼性解析技術を調査し、(1)でまとめた重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価プロセスに適用する人間信頼性解析手法の具体的な方法の手順を作成した。同手法の人間工学設計評価手法としての適用可能性を、人的過誤事例を対象にして人的過誤の発生過程及び認知コンテキストを中心に検討した。また、同手法の運転員等の振る舞いに関する検査への適用可能性を示した。

4. 成果の活用について

4.1 プロジェクト期間内

- 本安全研究と並行して策定が進めていた「人間工学設計開発に関する審査及び検査ガイド」(以下「HFEガイド」という。)は、令和2年9月23日原子力規制委員会で策定の検討方針*が示され、その後、令和3年4月7日原子力規制委員会で決定された。
- 本研究における検討事項は、上記検討方針及びHFEガイドの策定において、設計開発の各段階(計画、設計のためのインプットの分析、設計及び検証と妥当性確認)に応じた人間工学設計開発評価の実施項目について、潜在的な人的過誤及びその要因を分析する手法の明確化に活用された。

*第27回原子力規制委員会(令和2年9月23日)資料3「人間工学設計評価に関するガイド(案)」の検討に関する今後の進め方について

4. 成果の活用について

4.2 今後の見通し

- ・ 安全研究成果報告書は、将来、検査において運転員等の振る舞いを確認する際の手引き書として活用できると期待できる。例えば、発生しうる人的過誤の発生過程の考え方やその人間工学設計上の不具合（手順書の複雑さ等）を事前に把握することにより、シミュレータによる事故対応の訓練を観察する。

5. 成果の公表等

➤ 規制ガイド類

令和3年4月7日「人間工学設計開発に関する審査及び検査ガイド(原規技発第2104072号)」の制定

➤ NRA技術報告

なし

➤ 論文(査読付)

人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の具体的手法の検討及びその適用可能性の確認については、学術冊子への論文投稿を行う準備を進めている。

➤ 国際会議のプロシーディング(査読付)

なし

➤ 表彰・受賞

なし

➤ 委託先等による公表

なし

6. 成果目標に対する達成状況

- 本安全研究の目的は、原子力安全の一層の向上を図るために、重大事故時等に関する不確実な状況に対応する人間の複雑な認知行動を評価する方法を検討することである。
- 研究項目①については、人間工学設計の評価における人間信頼性解析の適用に関する考え方を検討した結果を踏まえ、重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価プロセスの手順を作成した。
- 研究項目②については、重大事故時等の対応に関する人間工学設計の評価プロセスに適用する人間信頼性解析手法の具体的な方法について運転員等の振る舞いに関する検査への適用可能性を示した。
- 研究の成果は、HFEガイドに反映し、検査への適用可能性を示したことから、計画した目的を達成した。