

ヒューマンファクターエンジニアリングに関する 産業界の取り組みについて

2020年10月26日
原子力エネルギー協議会

0. はじめに
1. これまでの産業界の動向
2. 海外動向調査及び分析
3. 今後の取り組み
4. 人間工学設計評価に関するガイド（案）への確認事項

0. はじめに

- 日本国内におけるヒューマンファクターエンジニアリング（HFE）については、TMI事故を契機に様々な取り組みを実施してきている。特に、中央制御室に関しては情報技術の進歩に合わせてデジタル化が進み、運転経験や運転員の業務分析なども踏まえ、監視性/操作性向上のための種々の工夫がなされている。
また、ヒューマンファクターを考慮した開発及び設計プロセスの構築にも取り組んできており、デジタル化を中心とした中央制御室の設計開発の実績、他の規格との整合性等を考慮して、JEAG4617/JEAC4624をまとめ、計算機化されたヒューマンマシンインターフェース（HMI）の設備面での開発及び設計に関する実施方法を定めている。
- 一方で、産業界としてもHFEに関する海外動向に注目しており、海外における規格の内容や実施状況等を調査すると共に、その内容を分析し、日本の産業界として目指すべき方向性について議論を重ねてきた。その結果、日本の現状に合ったHFEプログラムを構築し、運用していくことが今後の更なる安全性の向上につながると考えられ、産業界としてその構築に取り組んでいる。

1 - 1. HFEに関する国内産業界の動向

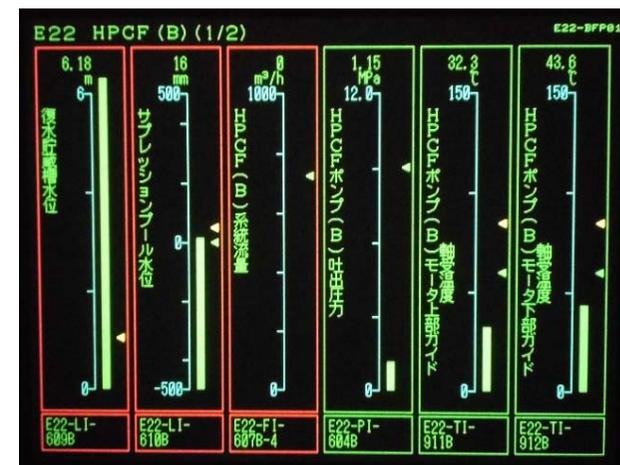
- 日本国内におけるHFE関連の要求事項については、TMI事故を受けて発行された「我が国の安全確保対策に反映させるべき事項（52項目）」を基に検討が進められ、各種法令・基準に取り込まれている。
- 国内産業界においては上記規制に対応するとともに、「運転員の誤操作及び誤判断の防止」の観点からHFEに関する研究を進め、プラントの監視性/操作性を高めるための種々の工夫がなされてきた。
- 1980年代後半からはデジタル中央制御盤の開発が進められ、計算機を用いたHMIを取り入れることにより大幅な改善を図ると共に、2000年代には、これまでに得られた人間工学的知見を基に、JEAG4617/JEAC4624を制定し、HMIの開発及び設計に関する実施方法を定めている。
- その後も、これまでの運転経験や国内／海外規格等から得られた知見を考慮して最適なHMI設計を進めると共に、発生したヒューマンエラーに対しては不適合管理プロセスを適用し、繰り返し改善することで、最適なHMI設計の維持に取り組んできている。

1 - 2. デジタル中央制御盤に関する設計例

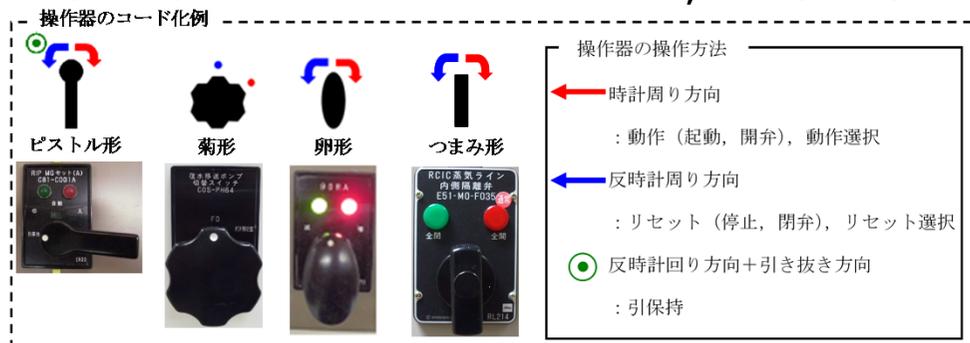
- プラント全体の重要な情報は大型表示盤に表示し、運転員相互の情報共有及びプラント設備全体の情報把握が可能な設計とする。
- CRT※1及びFD※2のパラメータ表示画面の重要なパラメータについては、枠線を赤色にすることで容易に識別可能な設計とする。

柏崎刈羽7号機

柏崎刈羽6号機



- 操作器は形状のコード化方法や操作方法に統一性を持たせている。(その用途・目的に応じて色, 形状を統一させることにより, 誤判断防止を図る。)



※1 Cathode Ray Tube
(ブラウン管ディスプレイ)

※2 Flat Display
(液晶ディスプレイ)

1 - 3. HFEに関する民間規格 (JEAC/JEAG)

- ・ 人間工学に関する配慮と検討が進んだことにより考案されたプラントの監視性／操作性を高めるための種々の工夫
- ・ 計算機の導入により実現したCRTを用いた集中監視と運転操作の自動化
- ・ 計算機の導入範囲の拡大と画面タッチ操作などの新しいインターフェース技術の導入

中央制御室の計算機化にかかわる設計要件として、これまでの中央制御盤に関する設計開発の実績、海外規格 (NUREG-0700等) を参考に以下の規程、指針を制定。



JEAG4617-2005 (2013年改定)

「中央制御室の計算機化されたヒューマンマシンインターフェースの開発及び設計に関する指針」

概要

主に計算機を用いて構成したヒューマンマシンインターフェースに対する開発過程と製作設計過程を規定。

- 中央監視操作盤の開発過程
- 中央監視操作盤の製作設計過程他

JEAC4624-2009

「原子力発電所の中央制御室における誤操作防止の設備設計に関する規程」

概要

中央制御室において、誤操作することなく適切に運転操作するために必要となる設備面の要求事項を規定。

- 中央監視操作盤の盤面、配置
- 中央監視操作盤の更新にあたっての配慮他

本規程、指針の内容を、国内の標準化されたHMI設計として、以降のプラントにおける中央制御室の設計・開発に活用。

2 - 1. 最近の国内産業界における取り組み

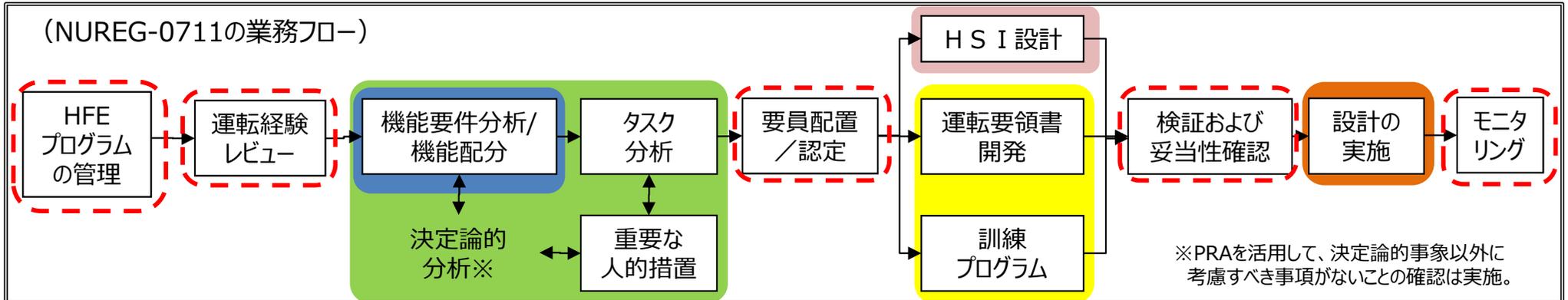
- HFEに関する海外動向を調査。主な内容は以下の通り。
 - NUREG-0711 rev.3, IAEA SSG-51 (当初はDS-492) 等, 海外規格の内容を確認し, 国内に適用した場合の影響評価を実施 (対象は, 中央制御室に限らず, 緊急時対策所, SA設備, 現場盤を含む)
 - 米国におけるHFEに関する状況をベンチマーク調査 (BWR事業者協議会, PWR事業者連絡会を通じて, 海外の実施状況を調査)

2-2. 海外動向調査から得られた知見

- 海外規格に関する調査，米国におけるベンチマーク調査から，以下のよう
な知見が得られている。
 - HFEに関する取り組みは，日米ともにTMI事故を契機としているもの
の，両者の取り組みには違いがある。
 - 米国では，NUREG-0711を基にHFEプログラムが構築され，体系的
な取り組みがなされている。具体的には，モノの設計・製作に関わる
部分だけでなく，「安全解析」「運転体制」「手順書・訓練」等との
関係も考慮しながら，適切にHMIを構築，維持，向上していく体系が
構築されている。
 - 一方，国内においても，様々なHFEに関する課題に対応してきてお
り，それらは設置許可基準規則/技術基準規則等の現行国内規制・法
体系とも整合がとれたものとなっている。また，NUREG-0711の12
要素に対しても，要素個別では概ね配慮された設計になっていると考
えられ，適切なHMI設計が実現されている。但し，米国と比較した場
合に，個々の要素のつながりを意識した体系的な取り組みという点（
プロセス面）で改善できる部分があると考えられる。

2-3. NUREG-0711の12要素と国内の取り組み状況

NUREG-0711 Rev.3を適用した場合における、NUREGに対する現状の国内既設プラント（DB設備）の取り組み状況を整理した。国内既設プラント（DB設備）については、従来の許認可審査においてHFEに関連する設計情報をご審査頂いている部分もあり、また十分な運転実績を有していること等から、現状の取り組みでもNUREG-0711 Rev.3の各要素に対して同等の内容が実施できていると考える。



<許認可審査での説明内容>

- 設置許可本文五号、添付八に主要系統、主要機器、主要操作（自動作動含む）を説明。
- 設置許可本文十号、添付十に決定論的事象に対して、対応操作（重要な人的措置相当）や操作を行うための必要な情報（タスク分析結果相当）を説明。
- 工認（中央制御室の機能に関する説明書（補足含む））にて誤操作防止に関する設計を説明。
- 保安規定の社内標準体系にて運転要領書および教育・訓練の内容を記載。（運転要領書の詳細内容の確認については、保安検査等で実施。）
- 設計は、工認の各添付資料および使用前検査にて説明。

<許認可審査以外での取り組み状況>

- ・HFEプロセス全般を包絡した計画書はない。但し、各項目については同等の内容を実施。
- ・運転経験レビューについては、プラント設計時に考慮すると共に、供用段階でもニューシア等の情報を活用し、運転経験を活用したPDCAを回している。
- ・配置要員/認定（力量）については、プラント設計時に考慮しているが、供用段階においても定期的に力量評価を実施している。
- ・検証および妥当性確認については、開発/標準化段階の共同研究等における評価や製作設計段階の各種評価を実施している。また、その妥当性はこれまでの運転実績等にて証明がなされている。
- ・モニタリングについては、不適合管理の中で人的要因について分析している。

2-4. 得られた知見を踏まえた検討の方向性

- 海外動向調査の結果から、産業界として日本国内においてもHFEプロセスを体系的に整理した“HFEプログラム”を構築することが有用であると認識。
- 海外規格（NUREG-0711 rev.3, IAEA SSG-51等）と国内規格（JEAG4617/JEAC4624等）の比較分析を実施し、国内における対応方針を検討した。
 - JEAG4617を中心とした国内規格とNUREG-0711 rev.3の比較分析を実施（IAEA SSG-51もほぼ同等と考え、NUREG-0711 rev.3をベースに分析を実施）。
 - 国内規格を中心としたこれまでのHFEに関する取り組みを最大限活用しつつ、IAEA SSG-51, NUREG-0711 rev.3で実現されている体系的な取り組みを構築できるような方法を検討する。

具体的には、HFEの12要素を具体的な図書等により明確にインプットとアウトプットで結び付けて評価できるような体系を実現したい。

2-5. 海外規格と国内規格の比較分析

- JEAG4617とNUREG-0711 rev.3を比較。

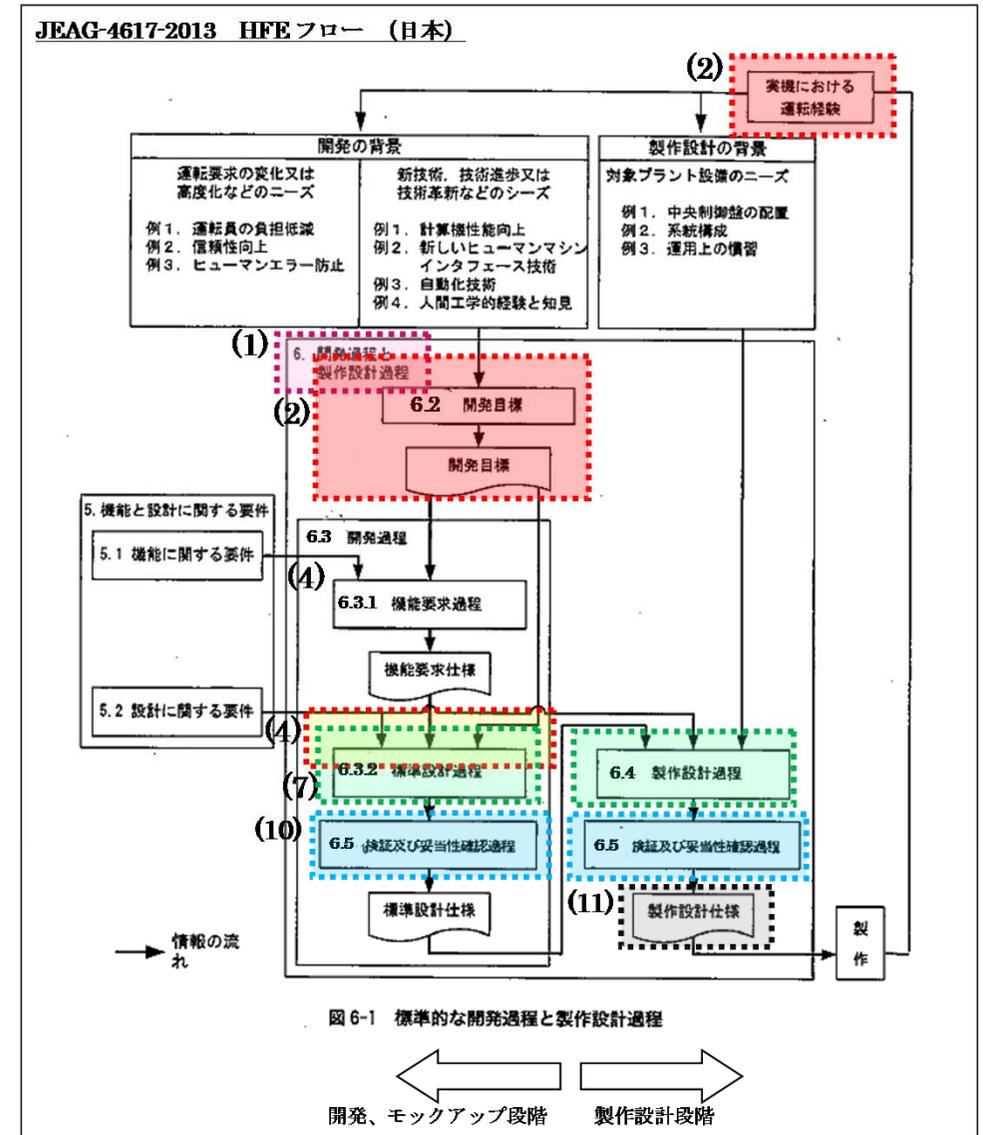
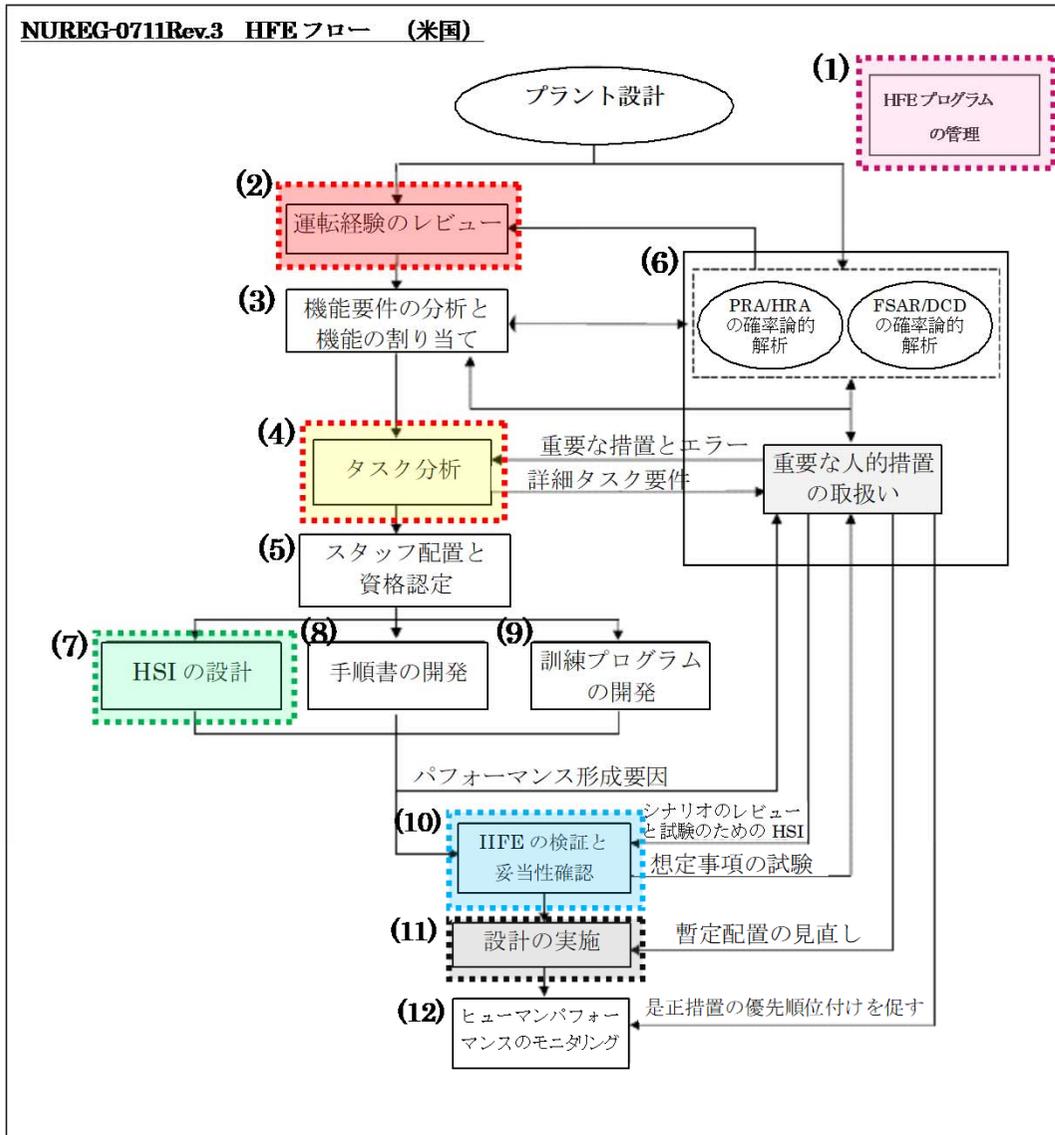
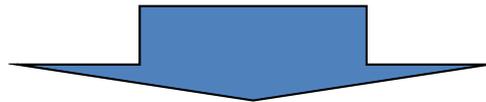


図 6-1 標準的な開発過程と製作設計過程

2-6. HFEプログラム構築に向けた検討

- 前述した海外動向調査や海外規格の分析結果，国内規格と海外規格の比較分析結果を基に，産業界として考える「あるべき姿」をHFEプログラムの骨子案として整理。
- 整理した骨子案をベースにした国内向けHFEプログラム構築に向け，以下の点を考慮した実務で活用できる産業界のガイド案を策定することとした。
 - 設計に関する内容はJEAG4617/JEAC4624等で規定され，ある程度整備されていることから既に国内にある取組みをベースにプログラムを構築することが望ましいと考える。
 - これまで設置許可，工認，使用前検査，保安規定といった規制・法体系をベースとして，これまでの審査で事業者側が説明してきた内容を最大限活用した形でまとめるのが良いと考える。



現在，国内向けHFEプログラムを構築するための『産業界ガイド』案を策定中。

3. 今後の取り組み

■ 今後の取り組み

- 引き続き、産業界ガイド案の策定に向け、ATENA傘下のWGで検討作業を進めていく。
産業界ガイド案の検討の中では、具体的な設計事例や海外の事例を参考に、HFEプログラムの実運用を見据えた具体的な実施方法を検討していく予定。
- 最終的には新たな国内規格（JEAG等）として、2023年度末を目標に制定することを目指す。

4. 人間工学設計評価に関するガイド（案）への確認事項

■ 確認事項

- ・ ガイドを用いて実施される審査，検査について，事業者としては設置変更許可申請や工認変更申請となる工事のうち，これから設計に着手するものが対象と考えるが，具体的な対象範囲を確認させていただきたい。
(許認可変更等を要する重要な工事とするのか，全ての工事を対象とするのか等)

参考資料

HFEに関連する民間規格（JEAC/JEAG）

- **JEAG4617-2013「中央制御室の計算機化されたヒューマンマシンインターフェースの開発及び設計に関する指針」**

中央制御室におけるHMIの開発及び設計に関する基本事項（設計要求事項や一連の設計開発プロセス等）が記載されている。

- **JEAC4624-2009「原子力発電所の中央制御室における誤操作防止の設備設計に関する規程」**

中央制御室における誤操作防止のために必要な設備面への要求事項が記載されている。

- **JEAG4627-2017「原子力発電所緊急時対策所の設計指針」**

緊急時対策所に対する設計要求事項が記載されている（ただし、HFE関連の要求は限定的）。

- **JEAG4802-2017「原子力発電所運転員の教育・訓練指針」**

運転員の養成及び運転に必要な知識・技能等の維持・向上のための教育・訓練に関する基本的事項が記載されている。

- **JEAC4804-2014「原子力発電所運転責任者の判定に係る規程」**

運転当直長を判定する際の要求事項（求められる力量や試験内容等）が記載されている。

NUREG-0711 12要素の展開方法（1）

NUREG-0711 の12要素	JEAC/JEAGにおける該当項目の有無				各要素に対する展開の方向性
	JEAG 4617	JEAC 4624	JEAG 4802	JEAC 4804	
(1) HFEプログラムの管理	○				産業界ガイドの中でHFEチームの組織化，スタッフや訓練等を包含したプロセスも含めて規定する。
(2) 運転経験のレビュー	○				産業界ガイドの中で「運転経験」のレビュープロセス・実施事項等も含めて規定する。 但し，具体的な内容は各事業者個別のものを活用できる ようハイレベルな記載が望ましい。
(3) 機能要件の分析と機能の割り 当て					産業界ガイドの中で規定するが，別途「機能要件の分析 と機能の割り当て」，「タスク分析」，「重要な人的措 置の取扱い」に関するガイド，又は参照文書を設定し， それを呼び込む形が望ましい。
(4) タスク分析	○				産業界ガイドの中で規定するが，別途「機能要件の分析 と機能の割り当て」，「タスク分析」，「重要な人的措 置の取扱い」に関するガイド，又は参照文書を設定し， それを呼び込む形が望ましい。
(5) スタッフ配置と資格認定				○	産業界ガイドの中で規定するが，具体的な内容は JEAC4804を呼び込む形とする。
(6) 重要な人的措置の取扱い					産業界ガイドの中で規定するが，別途「機能要件の分析 と機能の割り当て」，「タスク分析」，「重要な人的措 置の取扱い」に関するガイド，又は参照文書を設定し， それを呼び込む形が望ましい。

NUREG-0711 12要素の展開方法（2）

NUREG-0711 の12要素	JEAC/JEAGにおける該当項目の有無				各要素に対する展開の方向性
	JEAG 4617	JEAC 4624	JEAG 4802	JEAC 4804	
(7) HSIの設計	○	○			産業界ガイドの中で規定するが、具体的な内容はJEAG4617/JEAC4624を呼び込む形とする。 但し、中央制御室に限定せず、RSS等についてもJEAG4617の中で規定し、緊急時対策所についてはJEAG4627を参照する形が望ましい。
(8) 手順書の開発					産業界ガイドの中で規定する。 但し、手順書の作成方法や様式等、具体的な内容については各事業者個別のものを活用できるようハイレベルな記載が望ましい。
(9) 訓練プログラムの開発			○		産業界ガイドの中で規定するが、具体的な内容はJEAC4802を呼び込む形とする。
(10) HFEの検証と妥当性確認	○				産業界ガイドの中で規定するが、具体的な内容はJEAG4617を呼び込む形とする。
(11) 設計の実施	○				産業界ガイドの中で規定するが、具体的な内容はJEAG4617を呼び込む形とする。
(12) ヒューマンパフォーマンス のモニタリング					産業界ガイドの中で規定する。 但し、モニタリングの方法等、具体的な内容については各事業者がもつ既存のシステムを活用できるようハイレベルな記載が望ましい。