

運転実績データが無い燃料デブリ取り出しシステムに対する致命度分析

東京大学
東京大学
東京大学
東京大学

杉浦 鉄宰
中島 慎介
安 琪
山下 淳

Tessai SUGIURA
Shinsuke NAKASHIMA
Qi AN
Atsushi YAMASHITA

1. 緒言

福島第一原子力発電所のデブリ取り出しシステム設計ではリスク分析が必要である。しかし、デブリ取り出しシステムは運転実績データが無く、Fault Tree Analysis のような頻度データを用いたリスク分析は困難である。そこで、IAEA が提唱する Objective Tree (OT) と、機械設計で用いられている Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) を組み合わせた手法を開発する。なお、OT は機能分析、FMEA は機器分析を行うため、双方の分析結果の表現方法は異なる。即ち、双方が独立してリスク分析した結果の単純な足し合わせは不可能である。この難しさから OT と FMEA を組み合わせたリスク分析手法は無い。よってデブリ取り出しの特徴を考慮しつつ、OT と FMEA の分析手順を適切に組み合わせることが研究チャレンジとなる。

2. 開発したリスク分析手法

開発したリスク分析手法を図1に示す。

【デブリ取り出しの特徴考慮】 燃料デブリの加工や搬出は、暗闇・水蒸気・放射線など様々な外乱が及ぶ中で行う。よって、どの外乱がどの作業に影響を及ぼすかの考慮を含めてリスク分析できるように、FMEA に「作業工程」と「機器への外乱」を入力する仕組みを独自に設けた。

【分析情報の統合】 OT と FMEA が分析途中で出力する機能・機器劣化メカニズムを「通常作業逸脱メカニズム」として統合する仕組みを独自に設けた。

【致命度計算】 FMEA の式(1)にて、致命度 C を算出する。ここで、 E は影響度 (1~5 点)、 P は事象出現頻度 (1~3 点)、 d は探索難易度 (1~3 点)、 m (1~3 点) は対策難易度である。なお E, P, d, m は定性的な指標で決定する。

$$C = E \cdot P \cdot (d + m) \quad (1)$$

上記の定性的な指標により、 C はリスク分析者ごとに分散する。分散の影響を小さくするため、 C の点数帯域ごとに次に記す5段階の致命度ランクに分類する。5 (致命的): $51 \leq C$, 4 (影響大): $31 \leq C \leq 50$, 3 (影響あり): $21 \leq C \leq 30$, 2 (影響小): $11 \leq C \leq 20$, 1 (無視可能): $C \leq 10$ 。

3. 検証実験

開発したリスク分析手法を IRID のデブリ気中取り出し工法[1]へ適用する。デブリ取り出し装置において、致命度ランクが最も高いリスク分析結果を表1に示す。

【作業空間の認知不良 (表1, ID 1, 2)】

作業現場への移動時および燃料デブリの加工時に、水蒸気による外乱でカメラ映像の視界不良を起こす。

【燃料デブリの性質による機能劣化 (表1, ID 3)】

燃料デブリの加工時に、圧縮強度の高い燃料デブリが外乱となり、損耗した加工ツールの交換が頻発する。

これらリスク分析結果はプラント設計専門家へアンケートし、設計に活用できると判断された。従って、提案する OT と FMEA の組み合わせは適切であると考えられる。

4. 結言

デブリ取り出しシステムの通常作業逸脱メカニズムに対する致命度を明らかにするリスク分析手法を開発した。検証実験を通じて開発した手法の適切性を確認した。

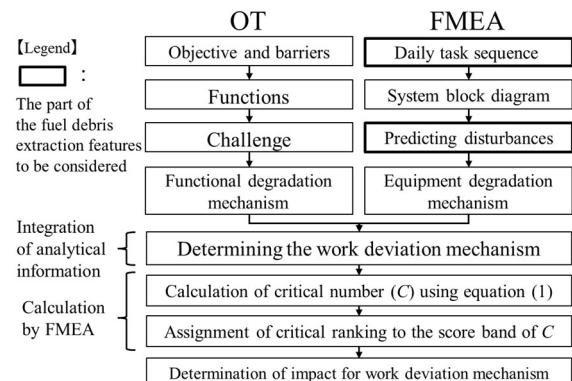


Fig.1 Risk analysis procedures combining OT and FMEA

Table 1 Results of risk analysis for working system

ID	Work deviation mechanism:		E	P	d	m	C	Critical ranking
	Functions	Equipment						
1	Moving within PCV	Self-location of the PCV interior movement eqpt. is unknown	4	3	3	1	48	4
2	FD process	Improper positioning of the FD processing eqpt. (robot arm)	4	3	2	1	36	4
3	FD process	Frequent replacement work due to an increased wear rate of the FD processing tool (cutters, etc.)	4	3	2	1	36	4

PCV: Primary containment vessel FD: Fuel debris eqpt.: Equipment

謝辞 本研究は METI 補助事業として文献[1]の開発を担った IRID と東芝エネルギーシステムズの協力を得た。本研究の一部は JAEA 英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業 JPJA24H24020026 の助成を受けた。

参考文献

- [1] IRID 公開資料, “原子炉格納容器内の連続的な監視システムの開発 (2022 年度最終報告)”, (2023)