

レジリエンス工学のプラント安全への応用

氏田 博士 (キヤノングローバル戦略研究所)

Application of Resilience Engineering on Plant Safety
Hiroshi Ujita (The Canon Institute for Global Studies)

1. 分析方法

これまで様々な福島第一原子力発電所事故 (1F 事故) の調査結果が報告されている[1]-[3]。それら分析方法や近年提言されているレジリエンスエンジニアリング (RE) [4]、高信頼性組織 (HRO) [5] などの新たな研究方法[6]-[7]に基づいて、1F 事故の対応における成功事例と失敗事例を、対応能力の個人レベル、組織レベル、外部対応に関連つけて分析し課題を抽出した。本分析では、主に東京電力 (株) の「福島原子力事故調査報告書」[8]を基にして、1号機における注水の経緯、特に海水注入継続判断を中心に検討した[9]-[10]。

2. 分析に用いた手法

<2・1>レジリエンスエンジニアリング

従来の個人の判断を排除したヒューマンエラーを生じさせないように、ロバストなシステム設計を目標とする戦略に対して、RE[4]の定義では、システム状態の変化が苛酷な場合には、個人の状況判断を許容して人による対応も含めて、システムが定常に収まるようにしようとする戦略である。

レジリエンス (柔軟で強靱) とは、組織が本来的に持っている能力であり、環境変化や外乱に応じて組織機能を事前にその最中にまたは事後において調整する能力である。また、レジリエンスな組織とは、この調整する能力を組織の全階層で発揮でき、バランスの取れた効率性-完全性のトレードオフ (ETTO) ができる組織である。そのために必要な能力は、学習力、予測力、監視力、即応力の4種類であり、これらの相互関連が上手くいかなかった時に失敗する。

<2・2>高信頼性組織

HRO [5]でも組織の能力を研究している。その能力としては、平時には、些細な兆候も報告する「正直さ」、念には念を入れる「慎重さ」、操作に関する「鋭敏さ」 (鋭い感覚) を、また有事には、問題解決のために全力で対応する「機敏さ」、最も適した人に権限を委ねる「柔軟さ」の5種類が挙げられている。また、これらを統合するコアとして、「マインド」を持つ人とプロセスを開発し、彼らを支える組織マネジメント、組織文化を作ることが提案されている。HRO は、良好事例の組織から見るという立場であるが、事

故トラブルを少なくするという目標では共通しており、現在の RE と方向性は一致している。

<2・3>リスクリテラシー

組織の有効なリスクマネジメントのためには、組織としてまたリスク管理者としてリスクリテラシー (RL) [6]を持つことが重要である。そのためには、解析力 (収集力、理解力、予測力より構成される)、伝達力 (ネットワーク力、コミュニケーション力)、実践力 (対応力、応用力) の3種類、計7つの能力が必要であるとされている。

3. 組織要因分析結果

1号機の注水経緯について、RE、HRO、RL の各々の観点で分析した。その例として、表1にはRLの観点での分析結果を示す。横軸には提案されている対応能力を、縦軸には個人、組織 (さらに現場と管理部門に分割した)、外部対応 (官邸の対応も一部含む) の各レベルを置いている。東電報告書 [8] の1号機虫垂継続の分析の部分から重要なキーワードを拾い上げ、筆者が良好事例と判断した内容を緑ゴチックで、失敗事例と判断した内容を赤イタリックで示している。表1に示すように、事故対応能力については個人や組織のレベルと国家や業界レベルとの間に相違が見られる。

4. 事故対応能力の考察

個人ベースや組織ベースではレジリエンスの良好事例が多くみられる。現場において良好事例が多くみられる根底には、現場における当事者としての使命感があり、平日頃から問題意識を持っていることまた対象範囲は異なるがアクシデントマネジメント訓練を経験していたことが緊急時に有効に働いたと考えられ、これこそが安全文化醸成の意義であろう。特徴的な良好事例として、中越沖地震の経験を反映して、整備された非常用電源・空調のある免震重要棟を緊急時対策室として有効活用し、また配備された消防車を海水注入等に有効活用したことが挙げられる。これから、平時における「組織としての学習 (フィードバック) システムの確立」が重要であると提言できる。また、通常時において、苛酷な事象進展を想定した緊急時訓練を継続することが有効であろう。

その一方で、管理部門や国家レベルでは危機対応の不備が多々見られる。管理部門においては、緊急時の責任分担、事態の深刻度の評価と平時から有事へのモード切り替え、などの訓練こそ欠かせない。国家レベルや業界ベースで、レアイベントの認識の課題と組織文化の課題とにおける失敗事例が多くみられる。これらは限定合理性[7]によれば、限定された環境の中で限定された情報に基づいて合理的に判断したが、神の目から見れば失敗だったと解釈される。対策としては、限定合理性を破壊すること、すなわち、有事における「**命令違反を許容する（現場判断を優先する）システムの確立**」が重要であると指摘している。海水注入継続判断における、官邸及び本店からの指示にもかかわらず現場判断を優先した行動はその典型例と言えるであろう。逆に PCV ベントの遅れは、国や自治体の了解を得る時間のロスが遅れを招いた失敗事例を言えるであろう。

5. 福島第一と第二原子力発電所の対応比較

1F と福島第二原子力発電所 (2F) の対応に大きな差が現れたと言われているが、2F の教訓をまとめた資料[11]を分析すると、表 2 に示すように、対応能力の相違の原因は被害の程度と電源の有無であることは明らかである。2F では、システム全体としての被害が比較的軽微であったことに加え、電源が生き残ったため照明・通信・制御手段が十分に機能したことにより、有効な対応ができた。それ以外の様々なパフォーマンスをレジリエンス能力から分析しているが、1F の対応と大きな差異は見られなかった。

6. 安全思想の再構築

今回の事故におけるリスク認識の誤謬をなくすためには、図 1 に示す 4 つの問題に対して「想定外対応を統合した安全思想の再構築」が望まれる。

- 1) 安全想定の問題：想定外事象とは何を指しているのか、初期事象なのか結果として発現した事象なのか、いわゆるレアイベントをどこまで考慮すべきか、
- 2) 安全設計の問題：想定外事象に対し設計でどこまで対応できるのか、
- 3) 安全運用の問題：想定外事象における人間や組織の対応をどこまで期待できるのか、
- 4) 安全社会システムの問題：官僚システムや規制体系や損害賠償システム等の抜本的な見直し。

以上の課題を十分に議論し世界に発信することが、事故を起こした当事者としての日本の世界に対する責任であろう。日本が技術立国を継続していくためには、産業技術戦略として自主開発能力を持つこと、及び設計・運用とセットにして規制を輸出できるレベルに引き上げることが肝要である。

文 献

- [1] 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会 報告書 (2012年7月5日) .
- [2] Institute of Nuclear Power Operations, 福島第一原子力発電所における原子力事故から得た教訓, INPO 11-005 追録 (日本原子力技術協会 訳) ,(2012/8).
- [3]東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会 最終報告 (2012年7月23日)
- [4] Erik Hollnagel, E., Safety Culture, Safety Management, and Resilience Engineering, ATEC 航空安全フォーラム, 2009.11.
- [5] 中西 晶、「高信頼性組織の条件」、生産性出版、2007.
- [6] 林 志行、「事例で学ぶリスクリテラシー入門」、日経 BP 社、2005.
- [7] 菊澤研宗、「組織の不条理」、ダイヤモンド社、2000.
- [8] 東京電力 (株)、「福島原子力事故調査報告書」、H24.6.
- [9] 日本原子力学会、福島原子力発電所事故学会事故調最終報告書、丸善、H26.3.
- [10] 氏田、「事故とエラーのモデルに基づく安全・セキュリティのための個人及び組織の在り方」、日本セキュリティ・マネジメント学会 IT リスク学研究会、2014年7月4日.
- [11] 原子力安全推進協会、「東京電力 (株) 福島第二原子力発電所東北地方太平洋沖地震及び津波に対する対応状況の調査及び抽出される教訓について (提言)」、H24.12.

表1 リスクリテラシーの関連からの1号機への注水経緯分析結果

リスク リテラシー 分析レベル	平時			有事				
	解析力			伝達力		実践力		
	収集力	理解力	予測力	ネットワー ク力(情報発 信)	コミュニケー ション力(影響 力)	対応力(今あ る危機対応)	応用力 (抜本対策)	
個人	・津波被害事故 例	・津波被害の リスク認識	・電源喪失の リスク認識	—	—	・海水注入継 続判断	・緊急時訓練	
組 織	現場	・事故例収集: 貞観津波	・地震・津波 PSA実施によ る影響範囲評 価	・事故の大き さの認識	・現場の情報 共有	・指揮系統(現場) ・免震棟での一元 化 ・中装-緊対室運 絡	・淡水・海水注 入 ・ベント操作 ・被害の拡大防 止	・免震棟を緊対室 として活用 ・消防車有効活用 ・指揮系統 ・津波対策 ・AM対策
	管理 部門	・事故例収集: 貞観津波、 JNES津波PSA、 ルプレイエ・マド ラス炉浸水	・津波被害の リスク誤認識	・電源喪失の リスク誤認 識	・本店/現場 の情報共有	・TV会議システム (2F) ・本店-現場の指 揮系統の乱れ		・教育/訓練システ ム見直し
外部対応 (官邸、等)	・海外テロ対策 事例収集:米国 9.11テロ-B.5.b.	・事故の重要 性分類 ・地震・津波 リスク誤認識	・外部事象の 重要性 ・インフラ被 害リスク誤 認識		・メディア、地方自 治体、海外広報 ・官邸/本店/現場 の指揮系統の乱 れ	・初期対応の遅 れ ・政府指揮系統	・メーカ・協力企業 の支援 ・外部の支援 ・抜本対策:組織改 革(規制/電力)	

表2 福島第一と第二原子力発電所の対応比較

1Fと2Fの共通点	2Fの特徴	備考
・発電所対策本部の適切なガバナンス	・外部電源の1系統が機能維持	共通点多い 電源とそれによる情 報の有無
・発電所の外の組織(本店、メーカ等)から迅速な支援、物資の調達を受けられる体制の整備	・重要な設備の津波被害が軽微	
・強い使命感と安全文化を醸成	・比較的短時間で事故収束	
・耐震設計が有効に機能	・計器類機能維持	
・事故時対応に適切なマネジメント時からの職場環境づくり	・照明及び通信手段確保	
・事前に準備されていた各種対策の有効性	・中央操作室のランプで確認	
・非常時体制の整備	・本部で主要パラメーターを継続監視	
・食料備蓄	・パラメーター変動から計器類の故障の有無を確認	
・本店及び3発電所が共有のテレビ会議システム	・高汚染、高線量の極限状態での対応ではない	
・AM設備及びマニュアルが準備		
・十分な知識		
・深層防護的な考え		
・免震重要棟の設置(中越沖地震の経験)		
・本体整備の耐震設計、運転操作手順以外の地震に関する種々の対策も有効		
・AM設備の耐地震動		

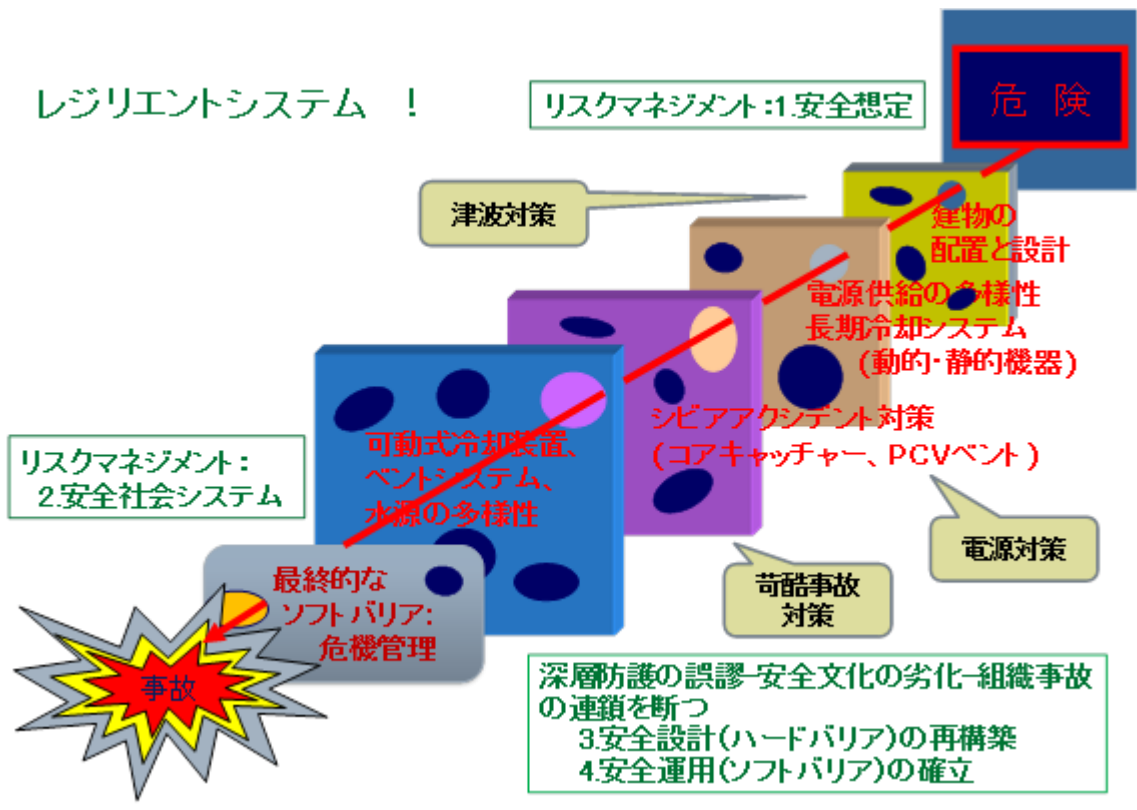


図1 安全思想の再構築