

ヒューマン・マシン・システム研究部会セッション

レジリエンス・エンジニアリングの進展

Progress of Resilience Engineering

(1) レジリエンス・エンジニアリングとその応用での今後の研究課題

(1) Resilience Engineering and Research Topics for Its Applications

*五福 明夫¹¹岡山大学

1. はじめに

原子力業界においては、東京電力（株）福島第一原子力発電所事故（以下、福島事故）の対応において、超人的で献身的な所員の活動が被害を軽減できたこともあり、レジリエンス・エンジニアリング（Resilience Engineering：以下、RE）[1-4]やレジリエンス[5]が近年注目されている。また、新規制基準[6]においては、シビアアクシデント対策やテロ対策の6項目の基本方針において、「ハード（設備）とソフト（現場作業）が一体として機能を発揮することが重要であり、手順書の整備や人員の確保、訓練の実施等も要求」とされている。令和元年度版原子力白書[7]においても、特集として原子力分野を担う人材の育成について、諸外国の大学や産業界での人材育成政策を調査して、今後の我が国での取り組みにおいて参考とすべき情報が整理されており、更なる安全性向上における人材の重要性が意識された編集となっている。しかしながら、REは概念的であり、出来るだけ変動要因を少なくする形で安全性向上を積み上げてきた原子力業界をはじめとするプラント業界では、どのようにREを応用して原子力プラントの安全性を向上できるかについて手探りの状態であることも事実である。

本稿では、REの考え方を整理するとともに、原子力プラントの安全性向上を目的とした応用について今後の研究課題の一考察を述べる。

2. 新しい安全確保のための方法論としてのレジリエンス・エンジニアリング

2-1. レジリエンス・エンジニアリングの考え方の特徴

従来、安全確保のためのリスクマネジメントにおいては、異常事象や失敗事例に着目してそれを排除する形で安全性向上の対策を立てることが行われてきた。原子力分野では特に深層防護の確保のために様々な安全設備が設置され、ヒューマン・エラー対策が行われてきた。このような安全対策のアプローチをREではSafety-Iと呼んでいる[8]。これに対してREでは、大規模複雑なシステムの運用においては、常に変動要因があり、人間（現場の要員等）がその変動要因に常に柔軟に対応するという、安全確保には人間の貢献があるとの前提に立ち、成功事例に着目した学習に基づく安全性向上のアプローチをSafety-IIと呼んで、Safety-Iとともに重視している。そしてSafety-IIを高めるためには、現場要員に期待する行動（WAI：Work As Imagined）と実際の行動（WAD：Work As Done）の差異の分析が重要であると主張している。

REでは安全性確保のために、4つの基本能力（Monitoring：監視、Responding：対応、Anticipating：予見、Learning：学習）が重要であるとしている[1]。これらの基本能力をシステムがどの程度持っているかを評価するために、RAG（Resilience Analysis Grid）と呼ばれる質問票が提案されている[2]。また、北村は補完的要素として、リソース配備の適切さ、変化への気づき能力、良好実践例からの学習、プロアクティブ（proactive）な行動の重視を指摘している[9]。

2-2. 原子力業界への応用の必要性

REは、最近では理論的考察だけではなく、特に、航空業界や医療業界においては応用研究も進展している[10, 11]。一方、原子力業界においては従来から、高い安全性を確保するために、安全設備の設置などのハー

*Akio Gofuku¹¹Okayama Univ.

ドウェアや手順書、運転員や発電所所員などの教育・訓練、安全文化の浸透などのソフトウェアの充実が図られてきたが、新規制基準[6]にもあるように、福島事故の教訓を踏まえた一段高い安全性追求が求められている。このために、できる限りの想定を事前に行い、想定事象に対する対策が採られている。しかしながら、予め準備している対策を超える事象が発生する可能性をゼロにすることはできず、そのような事象が発生した場合には人間のレジリエントな（柔軟で適応的な）対応能力に頼らざるを得ないことも事実であることから、運転員や発電所所員のみならず原子力業界のすべての技術者のレジリエントな能力の向上が必要である。このためには、深層防護の徹底を図るとともに、レジリエンス・エンジニアリングに基づく業界全体の不測の事態への対応能力を向上させる必要がある。

3. レジリエンス・エンジニアリングの応用での今後の研究課題

REでは、常に変動する現場に対して、現場要員の適応的な行動（WAD）により業務があたかもWAI通りに行われている状況を主に想定している。その一方で、原子力プラントのような工業プラントにおいては、出来るだけ変動要因を少なくするように設計、建設、および、運転が行われている。また、工業プラントの運転では事故の発生が限りなくゼロであることが求められている。さらに、REが提案している内容は抽象的な側面がある。このため、工業プラント業界においては、REをどう適用するかが難しいという意見や、その適用性に懐疑的な意見も漏れ聞く。本節では、REが原子力業界に受け入れられて適用研究が進展するために、REに関して著者が必要と考えている今後の研究課題について述べる。

まず、REではWADとWAIの相違を検討の出発点としているので、『(1) 原子力プラントの異常時対応における運転員等のWADとWAIを表現する枠組みの検討』が必要であろう。REにおいては、WADの表現にはFRAM（Functional Resonance Analysis Method）[12]がよく用いられているが、FRAMは機能共鳴と呼ばれる事象の可能性とその排除のための分析の切り口を提供するものと考えられ、原子力プラント運転のように要員の役割と活動がほぼ明確に規定されている場合には、FRAMの拡張あるいは別の表現手法の開発が必要であろう。

次に、REで重視している成功からの学びについて考える。これに関しては、『(2) 失敗からの学びと成功からの学びの内容の相違』が明らかになっていないことがREの適用を困難にしていることと考えられる。そもそも人間は成功を冷徹に分析できるかに疑問があるが、これらの2通りの学びはどちらも重要であり、学びの様相や性質の相違を明確にして、学習において使い分けが必要であると考えている。このためには、具体的な事例に対する研究が必要であろう。この課題に関連して、『成功からの学びで失敗を回避できる範囲は？（成功からの学びが安全性向上においてカバーする範囲は？）』、『失敗からの学びが安全性向上においてカバーする範囲は？』や『どのような研究でそれぞれの範囲を明らかにできる？』というサブ課題も設定できる。例えば、転けないように体のバランスを取る技を磨くことで、転けた時の衝撃を防ぐ転け方を学ぶことは困難であるとの思考実験から、失敗しないようにする範囲を広げることではできても、失敗した場合の対応については学ぶことはできないことが容易に理解される。このように、成功からの学びの範囲には限界があるが、成功を冷徹に分析することが出来れば、転ける場合の条件を厳密に考察することや失敗した場合に何が起こり得るかというリスクを想定するために重要な分析力や想像力を高めることができると考えている。これにより、偶々失敗しないことにより気づかなかったことに気づくことができる効果があると考えている。

また、『(3) 失敗を回避するために成功から学ぶための、日頃からの心がけや考え方』を、具体化して教育や訓練に取り入れることも重要であると考えている。これに関しては、パイロットの話として、「正常に離陸している時に、もしある異常が発生した場合にどのように対処するかを想像しながら離陸操作をする」ということをお聞きしたことがある[13]。このような思考訓練により異常事象の発生時に迅速で適切な対応ができるようになるとともに、整備されている手順の根拠への知識を深めたり、不備な点に気づいたりすることができると思われる。自動化の進展により、原子力プラントの運転員や緊急対策本部の要員には、手順通りに確実に実施することよりは収集情報の適切な解釈とそれに基づく的確な判断が今後求められると考

えられることから、成功から学ぶ観点、考え方や方法を明らかにして、具体的な訓練メニューとして整備することが重要であると考え。

安全確保や手順遵守が求められる原子力業界においては、REの安全性評価への貢献も重要である。このためには『(4) リスクアセスメントへどのようにREが応用できるか?』への解答が求められる。これについては、RAG[2]の質問では現状の前提条件や根拠を問うものが多く含まれており、これらの質問を参考にして、検討のための枠組みの構築ができると考えられる。これにより、システム（ハードウェアやソフトウェア）の設計段階での安全性確保の検討が向上するものと期待される。

システムのレジリエンスを活かすためには、レジリエントな対応が許容されたり、レジリエントな対応に移行したりするための基準が明確になっている必要があると考える。しかしながら現状のRE研究では、変動がある環境でより良いレジリエント性の発揮が主要テーマとなっているためか、そのような基準に関する考察は無いようである。そもそも『(5) 安全確保のためのレジリエンスの場合、何を柔軟に変更するかをどのように決めるのか?』の基準設定が難しい。基準設定には、選択肢と選択肢を選んだ場合の効果や影響の予測が重要であるが、そのどちらも困難な場合が多い。例えば、機関車の暴走に対して転轍機をどちらに倒すかと言う問題の場合では、選択肢があり、それぞれ選択肢を選んだ結果が明確である。この種の問題の場合には価値観の問題となり、個人的な決断はできないことはない。しかしながら、工業プラントの事故の場合には、周辺の広範囲の環境への影響が発生するため、対応行動を決める場合には多様な価値観に基づく合意形成が重要なことが多い。しかも実際の状況や事故の周辺環境への影響が明確でない場合が多い。事故の影響予測については、コンピュータ技術の高度化により数値シミュレーションによって相当程度明らかにできるようになってきているが、原子力プラントの炉心熔融事故のような場合には、正確で精密な予測には科学的な研究がまだまだ必要な状況である。

さらに、『(6) 手順書等で行動が規定されている場合に、それとは異なる行動をレジリエントに採ることが許容される条件は何か?』が明確ではない。工業プラントの場合には現場要員は手順書に従った行動が求められ、特に原子力プラントではヒューマン・エラーを減少させるために、異常への対応手順が細かく規定されている。手順とは異なる行動を採る場合は、失敗確率がある程度あるので、現場要員はなかなかレジリエントな行動が採れないことになる。鉄道分野では、東日本大震災時に柔軟な判断に基づく行動による成功事例[14]や、沿線火災時に手順と警察官の指示に従った行動が批判を浴びる事例[15]もあった。一般的には異常対応手順の相当数は実際の事例ではなく想定によって作成されているために、レジリエンスを活かすための条件の与え方について研究される必要があると考える。

4. おわりに

本稿では、近年理論的考察だけでなく応用研究も盛んになってきた、新しい安全確保の方法論であるREについて、まず、考え方の特徴を整理した。また、原子力プラントの更なる安全性向上のために適用するための課題の考察を述べた。今後これらの課題についての研究が進展し、REが原子力分野へ浸透して業界全体として不測の事態への対応能力が格段に向上することを願っている。

参考文献

- [1] E. Hollnagel, D. D. Woods, N. Leveson 編著, 北村 監訳, レジリエンスエンジニアリング 概念と指針, 日科技連, (2013).
- [2] E. Hollnagel, J. Parics, D. D. Woods, J. Wreathall 編著, 北村, 小松原 監訳, 実践レジリエンスエンジニアリング 社会・技術システムおよび重安全システムへの実装の手引き, 日科技連, (2014).
- [3] J. Reason, 佐相 監訳, 組織事故とレジリエンス, 日科技連, (2010).
- [4] 芳賀, 失敗ゼロからの脱却 レジリエンスエンジニアリングのすすめ, KADOKAWA, (2020).
- [5] A. Zolli, A. M. Healy, Resilience Why Things Bounce Back, Free Press, (2012).
- [6] 原子力規制委員会, 実用発電用原子炉に係る新規規制標準の考え方について, NREP-0002, (2018).
<https://www.nsr.go.jp/data/000155788.pdf> (アクセス日: 2021.1.11)

- [7] 原子力委員会, 令和元年度版 原子力白書, (2020).
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/hakusho2020/zentai.pdf> (アクセス日: 2021.1.11)
- [8] E. Hollnagel, 北村, 小松原 監訳, Safety-1 & Safety-2 安全マネジメントの過去と未来, 海文堂, (2015).
- [9] 北村, レジリエンス・エンジニアリングの産業安全向上への応用, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol. 14, No. 2, pp. 97-102, (2012).
- [10] J. Croft, New Training and Technologies Designed to De-program Pilot, Aviation Week & Space Technology, (2014).
- [11] 中島, 編著, レジリエント・ヘルスケア入門 擾乱と制約下で柔軟に対応する力, 医学書院, (2019).
- [12] E. Hollnagel, 小松原 監訳, 社会技術システムの安全分析 –FRAMガイドブック, 海文堂, (2013).
- [13] 石橋, 私信.
- [14] 河北新報 ONLINE NEWS, <アーカイブ>大震災。命運分けた停車位置, (2016).
https://www.kahoku.co.jp/special/spe1168/20160127_01.html (アクセス日: 2021.1.11)
- [15] 日本経済新聞, 沿線火災で電車屋根に飛び火 東京・小田急線、けが人なし, (2017).
https://www.nikkei.com/article/DGXLAS0040006_Q7A910C1000000 (アクセス日: 2021.1.11)