解説シリーズ

レジリエンスエンジニアリングの動向

第1回 レジリエンスエンジニアリングの概要と今日的意義

(株)テムス研究所 北村 正晴

レジリエンスエンジニアリングは従来、原子力分野で実装されてきた安全の実現法を補強する効果的な方法論としてのポテンシャルを有している。本シリーズではその現状と今後の動向を紹介する。第1回目の本稿ではレジリエンスエンジニアリングの概要を紹介するとともに、この方法論が開発されてきた歴史的背景とその意味合いについて解説する。背景知識を知ることなしにはどんな方法論の技法も適切に理解し運用することはできないと考えるからである。

I. はじめに

1. 今なぜレジリエンスエンジニアリングか

きわめて高いレベルの安全性を実現しようとする試みは、きわめて大きな困難課題に直面することが避けられない。建築や土木、自動車交通などの分野では、注意すべき「危険」の姿や事故が起こった際の結果は、作業者や運転者、そして市民一般の間で認識が共有されている。事故を防止し安全性を高めるための対策に関しても、産業従事者と社会の間で極端な認識ギャップは生じない。他方、原子力産業においては、深層防護の効果によって(福島事故を経験した現在、不謹慎な言い方とおしかりを受けるかもしれないが)事故の経験が日常化していない。そのため事故の生起過程や被害の相場、そして対策の実効性に関する認識が、社会との間以前に産業関係者の中でも共有されていない。このことが安全性向上の方策の立案と実装に大きな困難をもたらしている。

ヒューマンファクターや組織事故研究の先駆者であるJames Reasonは、このことを深層防護の功罪と名付けて、この効果の存在を認識した上での安全文化構築の必要性を指摘している¹⁾。レジリエンスエンジニアリング^{2,3)}は、この要請に応えるための有力な方法論であると筆者は考えている。

レジリエンスエンジニアリングはまだ成長過程にある新しい方法論である。根幹の理論的枠組みはほぼ確立したと見られるが、後述するように、今後の研究開発課題も少なくない。しかしながら福島事故以前の段階で、的確に理解され活用されていたならば、あのような大災害

に至るシナリオは回避できた可能性は小さくない。福島事故からの教訓の反映が原子力界にとって重要な課題である今日、本解説シリーズがレジリエンスエンジニアリングと原子力安全に関する原子力界の理解を深めることに多少とも貢献することを期待したい。

2. 背景からの学び

レジリエンスエンジニアリングは原子力システム(ここでシステムとは運用組織も含む)の安全性を格段に向上させるための有用な方法論である。しかし、その有用性が発揮されるためには、どんな方法論でもそうであるように、その活用のための背景知識を確実に理解しておくことが必要である。数学の知識なしに物理学を習得することはできないし、物理学や化学の知識なしに原子力工学を習得することはできない。レジリエンスエンジニアリングについても背景知識の習得は欠かせない。しかしレジリエンスエンジニアリングのみならず、一般的「安全」実現の方法論(たとえば品質保証や安全文化)に関しても、この当然の認識が必ずしも共有されていないように思われる。この点を自覚し修正することが、福島事故以後の時代において社会の要求に応えることのできる原子力安全の実現のための重要な条件と考える。

本稿では方法論の概略について読者との認識共有を優先させる。そこで方法論の骨子についてⅡ章に紹介した上で、歴史的背景にも力点をおいてⅢ章で説明する。その上で、実際にこの方法論を導入する際の留意点についてⅣ章で述べるという手順で解説を進める

Ⅱ. レジリエンスエンジニアリングの骨子

1. 第一種安全性から第2種安全性へ

安全実現の方法論を論じるには、目指す安全の姿その

Current Status of Resilience Engineering (1) : Overview and Safety Implications of Resilience Engineering : Masaharu KITAMURA.

(2014年1月6日 受理)

ものを定義しておくことが必要である。レジリエンスエンジニアリング提唱者の一人 Erik Hollnagel は、「安全とは望ましくない事態が起こらないこと」とか「安全とは許容できないリスクがないこと」のような静的概念や否定形で定義される安全を第1種の安全性 (Safety-I) と名付けた。そして「システムが大きな外乱などによって通常時の動作状態を維持できない場合、性能は低下させても動作を継続できる」、「破局的な状態は回避できる」、「状況が回復したら速やかに元の状態またはそれに準じる状態に復旧できる」という動的な動作ができる状態を第2種の安全性 (Safety-II) と定義した。定義から明らかなように、第2種の安全性は外乱、故障等への対応を含んだ動的かつ能動的な概念となっている³⁾。このように定義された安全は、深層防護 (Defense-in-Depth) の概念とも整合性がよい。したがって第2種安全性を目指すことが原子力安全向上方策の指針として妥当性が高いといえよう。

2. システムと環境の特性

第2種の安全性を基本とする必要性と表裏の関係にあるのが対象システムおよび環境の特性の認識である。レジリエンスエンジニアリングにおいては、以下のような認識を基本としている。

- a. システム・環境は常に変化している。
- b. 重要な意思決定は、多くの場合不完全情報状態でなされることになる。
- c. システムには、利益や効率を追究することが要求される。したがってシステムは特別に注意しないと次第に危険な状態へとドリフトしていく。
- d. 安全は重要ではあるがシステム動作の目的ではない。目的は(第2種安全性の意味での)動作の継続である。

認識 a. は考えてみれば自明であろう。機械システム(人間や組織も含む)も環境も、程度や進展速度は様々であるにしても時々刻々変化を続けているのが実態である。摩耗や腐食が進むし、保全作業がなされればその前後で機器の状態は変化している。運転や保全作業を担う人間の状態、気温、水温、天候などの自然環境、規制や査察などに関わる社会的環境なども変化し続けている。しかし、原子力発電所の安全解析などに際しては、対象のモデル化を行わねばならない。このため便宜的に対象の記述を固定的なものとして扱うことが通例となっている。それはやむをえないことであるにしても、結果として実際の原子力発電所や環境が定常的なものと思い込んではいない。この認識を前提として、安全を守るためには不安に敏感で警戒を怠らない心がけが必要であるとされている²⁾。この心がけがあれば、想定を超える地震や津波、そして長時間の電源喪失のような事象に対する配慮はありえたはずである。

認識 b. は認識 a. から必然的に導かれる。常態として存在する変化のすべてが事前に同定されていないのであるから、事前の知識を十分に備えた上での理想的な問題解決など不可能であり、限定合理性 (Bounded Rationality) の範囲での意思決定がなされることが通例である。

認識 c. は原子力分野では見落とされがちであるが、他産業、特に医療とか航空分野の安全研究者の間では共通認識となりつつある。具体的には、システムは安全の維持・向上に格段の注意を払わないと危険へのドリフトが生じるという見方が広い範囲で共有されている。

認識 d. について、原子力関係者の中には違和感を感じる方も少なくないかもしれない。「安全再優先」ではなく、動作または稼働の継続を目的にするなどと述べると安全の軽視ではないかと批判されることもありえよう。しかし安全が維持できなければ当然ながらシステム動作も継続できない。それゆえ、この認識は安全重視と矛盾するものではなく、動作の継続を目指すことで合理的な安全確保が可能であることを意味している。認識 c. と組み合わせ考えて結果として、安全性向上のためには当面の利益や効率は損なわれても採るべき必要な安全上の措置は避けてはならないという指針が導かれる。このような措置のことをレジリエンスエンジニアリングの分野では、犠牲を伴う判断 (Sacrificing Judgment) と名付けており、その必要性が強調されている。これら4項目の認識は、リアリスティックな視点に立った原子力安全の実現方策と密接にリンクしていることを指摘しておく。

3. 鍵となる4能力

ここまで述べた第2種安全性の概念と、4項目の実態認識を前提として、対象システムにレジリエント特性を持たせるためには以下の4つの能力が決定的に重要だという提案がなされている。

対応する (Responding)： 現在生じている変動や外乱などに適切に対応できること。現在のシステム動作状態を修正することや、事前に用意された対応方策の実施などを含む。今何かが生じたときに、適切な対応ができることはどんなシステムでもその持続のためには欠かすことのできない条件である。

監視する (Monitoring)： 現状に照らして、警戒すべき脅威を認識できること、そしてその脅威の発生を知るためには何を重点的に監視すべきかを知っていること。ここでいう脅威とは、システム内部で起こる事象と環境の変化起因の事象の双方を含む。

予見する (Anticipating)： 前項の「監視する」よりもさらに先の時間領域について、事象の進展や新たな脅威あるいは好機の可能性を見定めること。予見ができれば監視、対応いずれについても事前に相当程度の備えができることを考えると、この能力の役割も安全上きわめて

重要である。

学習する (Learning) : 前記の3つの能力は、システムが環境や自分自身に起因する変化に対する適切な対応を行い、第2種の安全性を実現するためにはどうしても必要な能力である。しかしこれらの能力はある時点で十分高かったとしても、そのままで自足しては前述した「危険へのドリフト」が起こることが避けられない。したがって、これらの能力を絶え間なく向上させること、すなわち学習する機能が備えられていることが必要になる。効果的な学習のためには、着目する事象の選択と、事象からの教訓導出方策とが必要とされる。

これらの4能力がレジリエンスエンジニアリングでは重要視される。ただしここで、4能力の駆動(発揮)は複数の時間スパンを対象にして並列的になされることが必要である。「対応する」を例にとれば「できるだけ速やかに対応する」という要請があっても、実際に対応が期待される時間スパンとしては、文字通り即応する、数分以内に対応する、数十分以内に対応するなど様々なバリエーションが存在する。監視や予見についても事情は同様である。これらの並列性とそれに伴う優先順位付けについても的確な判断が望まれることはいうまでもない。

なお、これら4能力は互いに独立ではない。対応、予見などの能力は、学習能力が高いシステムでは必然的に高くなるし、事前の予見が的確であれば対応能力も向上することは容易に理解されよう。そうであっても、システムがレジリエンス性を持つためには4つの能力のいずれもが欠かせないのである。

4. 補完的要件

レジリエンスエンジニアリングの解説文献などでは、上記の4能力の重要性は必ず指摘される。ただしこれらの能力がその役目を確実に果たせるためには、いくつかの補完的な要件も満たされていることが必要である。具体的には次のような要件が知られている。

リソース (Resources) 配備の適切さ : 仮に将来の脅威を予見でき、監視すべき事項も認識していたとしても、必要なリソース(装置、機材、物資、人員など)が用意され、必要な部署に予見的に配備されていなければ、実際の事象に対応することはできない。つまり前述の4能力には、必要なリソースについての配備に関係する能力も含意されていることに注意が必要である。

変化への気づき (Awareness) : 4能力いずれについても、それらが現実にも効果を発揮するには、能力が動作を開始するきっかけが必要である。そのためには、対象とするシステムや環境に生じている変化を、的確に認知し評価して、予見や監視、対応能力が活動のレベルを高める能力が望まれる。その意味で、微妙な変化を着実に検出するとともにその意味するところを明らかにできる気づき能力が欠かせないことになる。

成功事例への着目 : システムのパフォーマンスを高める上で学習が重要であるという認識は多くの分野で広く受け入れられている。しかし安全の分野ではこれまで、事故やニアミスなどの事例に着目して分析し、そこから教訓を得るという学習方式が中心であった。そのアプローチは自然なものであり理解できるが大きなジレンマが潜んでいる。安全性が相当程度向上したシステムにおいては、事故やニアミスなどの事例の発生頻度は必然的にごく小さいものになる。安全性が向上するほど学習の機会は失われていくのである。しかもそのようなシステムにおいて生じる事故やニアミスは本質的に希有の事象であるから、そこからの学習結果がその後の安全性向上に効果的に寄与できる可能性は大きくない。

このジレンマを念頭に置いてレジリエンスエンジニアリングでは、成功事例からも教訓を見いだすという指針を提唱している。航空機の場合を例にとれば、一見すると平穏な運航事例においても、出発前や飛行中に様々な変動や外乱は生じているはずである。それらを的確に処理できたからこそ結果として無事平穏なフライト達成という結果が得られている。このように考えれば、高い安全性を既に実現しているシステムにおいても、学習対象とすべき事例は十分に見いだせるという考え方が、この要件の背景をなしているのである。

なお、これらの補完的要件については、あえて明文化しなくても、鍵となる4能力を的確に発揮させようとするれば、これらの要件は自然に導出できるという考え方もあろう。しかし人間は自分の認知的作業負荷を低下させようと無意識に行動してしまうバイアス、すなわち最小努力の原理⁴⁾に支配されがちである。このバイアスに打ち克つためにはこれら補完的要件も明示的に記すことが必要と考える。

これらの4能力や補完的要件は、実務担当者個人も備えていることが望まれる。しかし個人の能力は限られている。それゆえ、基本線としては対象システムの運用を担う組織が責任を持って配慮すべきものであることを付記する。

5. 適用の範囲

レジリエンスエンジニアリングは変動の存在を前提にした第2種安全性の実現を目指す方法論であることはII.2で述べた通りである。ただしこの方法論は従来の第1種安全性の追求と矛盾するものではない。変動や外乱の程度が小さい場合には、当然ながら第1種安全性追求と同じ結果が得られる。第2種安全性の追求は第1種安全性追求問題に縮退するのである。

レジリエンスエンジニアリングの説明として、鉄道事故や航空機事故に際しての運転士やパイロットによる臨機応変な対応の事例が参照されることがある。そのような事例においては、対応手順書もないような想定を超え

る事象に対して、前記の4能力を活用し、的確で柔軟な判断と行動をした結果が示され賞揚される。しかしそのような柔軟な判断や行動は、直面する事象が文字通りの意味で事前想定困難であったような場合において許容されるものであり、それ以外の場合には標準的な手続きや手順書が遵守されねばならない。レジリエンスエンジニアリングは変化や外乱が小さくて実質的に無視できる場合から、それらが増大してより動的な対応が必要な場合までをシームレスにカバーする方法論である。実際に手順書の記述範囲を超える柔軟な対応や復旧能力までを含むレジリエント特性が発揮されるのは、ごく稀で想定困難な事象が発生した場合である。

なお、標準的な手順による事象対応を行っている最中であっても、かすかな異常兆候でも見逃すまいとする気づき努力や、事象が想定を超えるものであった場合の対応方策についての予見能力などは、適切に活性化されていることが望まれる。その意味では、直面する事象が想定内のものであってさえ、レジリエンスエンジニアリング的な視点は、組織にとっても個人にとっても必要なものと考えるべきであろう。

Ⅲ. 創成の背景

以上、レジリエンスエンジニアリングの方法論を概説したが、この方法論は従来からの大規模システム安全のための理論や実務的方法論と相反するものではない。それらの知見を内包した自然な発展形として創成されていることを理解されたい。

1. ヒューマンファクター研究への展開

1979年3月に起こったTMI事故が従来のハードウェア中心路線と、大事故は中小事故を包絡するという見方に明確な警鐘をもたらしたことは周知の通りである。その結果としてヒューマンファクターやマンマシンインタフェースの重要性が認識されたこと、原子力システムの安全評価においては人間信頼性解析(Human Reliability Analysis: HRA)が考慮されるようになったことは、大規模システムの安全性を考える上で重要な進展であった。前者を受けて人間の認知行動やエラーメカニズムの研究、ならびに中央制御室の運転員を対象とした支援技術が開発された。安全パラメータ表示システムやアラームフィルタはその代表例である。後者に関しては広く知られたHRA手法であるTHERP(Technique for Human Error Rate Prediction)を嚆矢として、いくつものHRA手法が開発された。これらの多くは人間要素を機械要素的に扱っていたが、その後、人間の認知特性を重視したATHEANA(A Technique for Human Event Analysis)、CREAM(Cognitive Reliability and Error Analysis Method)などが開発され第2世代HRA技法と呼ばれている。これらの努力は貴重なものであり、原子

力安全の向上に貢献をしたことは事実である。しかし、いずれの努力も、人間をエラーや失敗を持ち込む存在として捉える点は共通していた。換言すればこれらのアプローチでは、可能であれば人的要因は排除したいという願望が根底にあったことになる。実際にTMI事故に続く10年を超える期間、知識工学技術を用いて人間の役割を代替するための技術開発がなされてきている。言うまでもないことだが、人間はエラーもするが、それよりはるかに高い頻度で正しい判断や行動を行っている。この点に関心を払わずに進められたヒューマンファクター研究やその成果の現場導入が、それほど大きな実効性を持ち得なかったのは、ある意味当然であった。レジリエンスエンジニアリングの主導者であるHollnagelは上記CREAMの開発者でもある。HRA技法開発の先駆者であればこそ、エラーのみに着目することの不十分さに他にさがけて着眼したと推測される。しかしながら現場におけるヒューマンファクターを考えるに際して、人間の認知プロセスの重要性を指摘したことは、この段階での大きな成果であった。

2. 組織安全と安全文化へ

TMI事故の7年後に起こったチェルノブイリ事故によって、原子力界はヒューマンファクターだけでは安全の確保には不十分であることを思い知らされた。IAEAを牽引車とする国際的な連携活動を通じて、安全文化の重要性の認識は急速に進められたことは周知の通りである。しかしながら安全文化への重心シフトが急速に進んだ結果、先端的研究者には予見されていた重要な課題¹⁾について徹底した考察がなされないまま現場導入が進められたのではないかと課題の代表例を以下に示す。

安全文化と深層防護のパラドクス： 人間や組織のマネジメントに際して、導入された安全対策を評価することは常に難題である。原子力のように深層防護方式が採用されている場合、深層防護自体が問題点の検出をししばしば困難にする。それゆえ深層防護を基本とするシステムでの安全文化評価は一層困難である。この困難の解消策を適切に講じないと安全文化は機能不全となる。

報告する文化の困難： 困難の解消策の候補として報告制度の役割が期待される。そしてその関連で責めない文化(No Blame Culture)という概念が提唱されている。これらは理念としては「正しい」であろう。しかし「責めない」といっても明らかな怠慢や違反を放置はできない。結局「責める」「責めない」の線引き問題に公正に取り組む文化(Just Culture)⁵⁾の実現は現場の判断にゆだねられることになる。その線引きが人間の認知に照らして適切なものでない限り、結果として期待された効用は容易には発現しない。

問いかけの困難： 報告する文化だけでなく常に問いかける姿勢(Questioning Attitude)を持てという要請

も、「正しい」ものである。しかし多忙でストレスに満ちた産業現場では実践上の困難が伴う。

以上に示したいずれの困難も、「正しい」理念を、本質を失うことなく現場に組み込むための「実装」能力の重要性を示している。レジリエンスエンジニアリングはこの理念を実装につなぐための有力なツールとしての可能性を有している方法論なのである⁶⁾。

3. 失敗例から成功例への関心移行

Ⅲ.1 で述べたエラー中心のヒューマンファクターから脱却する重要なステップは J.Reason による成功事例への注意喚起⁴⁾である。この著作で Reason は人間をエラー要因としてのみ扱う従来の見方に強く異議を唱えた。そして、多くの歴史的エピソードを参照しつつ、人間がすばらしい判断や行動を採用した理由を明らかにしようとした。この著作は、エラー着眼型ヒューマンファクター研究に大きな革新を持ち込んだという意味で画期的である。

ただし、この著作で参照されている成功事例は、いずれも英雄的ともいえる優れた行動である。レジリエンスエンジニアリングの立場からは、学習の対象となる成功事例は日常的な活動の中でも経験されるトラブルの未然防止などの能動的 (proactive) 活動の中からも見いだされるべきものである。このことを強調したい。

4. 認知システム工学との関わり

レジリエンスエンジニアリングの説明にはじめて接した読者には、中心的な要素である「鍵となる 4 能力」の提案が唐突に感じられるかもしれない。実際にはこの 4 能力の提案は、認知システム工学 (Cognitive Systems Engineering ; CSE)⁷⁾の中でこれまで蓄積されてきた知見の自然な拡張になっている。大規模人工物システムを制御するための制御室には、過去、現在、未来に関する情報が提示されることが必要であるという提案はすでになされている。ここで過去の情報は学習、現在の情報は対応、未来の情報は監視と予見に結びつけられる。それゆえレジリエンスエンジニアリングの提案は CSE における知見とほぼ整合している。ただし未来を考える時間スパンを複数想定して、監視と予見という 2 つの能力を区別して提案していることは、新しい観点である。

以上記したように、レジリエンスエンジニアリングは、ヒューマンファクター、安全文化、エラーから成功例への関心シフト、認知システム工学などの成果を総合した形で構築されている。応用に際してはこれらの既往知見も適切に活用することが望ましいことを指摘する。

IV. 応用上の指針

1. 標準的用法

システムとそれを運用する組織が有するレジリエンス

性を評価し、その向上のための指針を示すことが、レジリエンスエンジニアリングを現場に導入する際の具体策である。鍵となる 4 能力が高いレベルにあれば、システムのレジリエント性は高いと考えることが自然である。これらの能力についてどのように維持・向上策が講じられているかを業務プロセスに関する調査を通じて明らかにすることが試みられている。調査は目的にあわせた質問集の作成から着手された。Hollnagel は 4 つの能力それぞれに対応した 4 組の基本質問集を作成し、それらに対する回答の質を評価してスターグラフに表示する方式を提案し、この方式を Resilience Analysis Grid (RAG) と名付けている⁸⁾。

具体的対象への応用に際しては、提案された質問集をそれぞれの現場に適合するように修正することが望ましい。筆者はある企業のご協力を得てこの適合化を行っている⁹⁾。例として、予見能力の評価のための修正質問集を以下に示す。

- ・活用する知識：未来予見のための知識の獲得策は？
- ・予見実施の頻度：予見作業はどんな頻度で実施？
- ・情報の共有：予見された事象の組織内共有方法は？
- ・未来予見の参照モデル：未来を予見するために参照するモデルまたは仮説はあるか？文書化されているか？
- ・予見の時間スパン：何日 (月, 年) 先を予見？
- ・リスク判断：予見された事象についてのリスク管理 (受容/回避など) の判断基準は明確？
- ・脅威分析：予見される脅威の性質をどのように分析している？
- ・組織文化：組織由来のリスクにつきどこまで認識？

各質問への回答結果は、|優れている、満足できる、受け入れ可能、受け入れ不能、欠陥大、考慮なし| のように 6 段階で評価される。予見能力については 8 項目の質問があるので、この結果は 8 軸のスターグラフとして可視化される。他の能力についても同様 8 ~ 12 項目の質問集が用意されている。さらにこの 8 ~ 12 項目への回答を平均値や最良値、最悪値などで代表させることで数値化する。4 つの能力について数値化した結果は 4 軸のスターグラフに要約できる。これらの結果を総合的に吟味することで、対象システムおよび組織のレジリエンス特性と、改良が望まれる能力内容とを明らかにできるわけである。

このアプローチは、一定期間内の不適合事例数やヒヤリハット報告数を評価するような、アウトカム評価とは本質的に異なっており、Ⅱ.4 で述べた安全性が高いシステムではアウトカム評価は困難になるというジレンマを解消するため、業務のあり方に関するプロセス評価方式が提案されていることに注意されたい。

なおレジレンスの評価法に関しては RAG 以外の方策も探求されている。RAG は代表例と考えていただきたい。

2. 派生的な活用法

レジリエンスエンジニアリングの基本的応用法はシステムや組織のレジリエント性向上であるが、よりインフォーマルな応用を通じての個人レベル効用も期待できる。トータルとしてのレジリエンスエンジニアリング応用だけではなく「レジリエンスエンジニアリング的な着眼点」の活用は下記のような様々なドメインで有効である。

運転業務における「気づき」の活性化： 中央制御室での運転監視やパトロール作業においては注意深い状況認識が期待される。しかし単に「注意深く作業せよ」と言われても、非熟練者にとっては要領がつかめない。その代わりに、「何が起こりそうか、しっかり監視せよ」「類似した状況が過去になかったか学習結果を想起せよ」などと指示されれば「気づき」への可能性が向上する。

保全作業前の心構えの指針： 作業に先立つツールボックスミーティング(職場で(工具箱の横で)作業者を集めて行う打ち合わせ)に際しても同様のやり方ができる。「何々に注意せよ」という留意事項を伝達するだけでなく、「どんな困難が予見されるか」「必要になりそうなリソース(道具、装置など)はないか」のような問いかけをすることで、着実な事前確認が期待できる。

事故や不適合事象の原因分析の支援： 関与した人間やチームの行動を分析するに際して、実際に生起してしまったシナリオシーケンスに沿って、各ステップでの判断の是非が吟味されることが通例である。このやり方は標準的なものではあるが、得られる教訓はその事例の再発防止のためのものに局所化しがちである。事故の発生に先立って、鍵となる4能力の発揮によって当該事象が回避できた可能性について考察することで、より包括的で未来指向型の事故分析が可能である。

これらの例、特に運転作業と保全作業への応用は見方を変えればNon-Technical Skill (NTS) またはソフトスキル(直接の技術スキルを補完する、状況認識、意思決定、コミュニケーション、チームワークなどのスキル)の向上策と見なすこともできる。レジリエンスエンジニアリングは目的ではなく手段である。このような手段としての利用も採用されてよいと考える。

V. 今後の課題と結言

本稿では紙数の制約から言及しなかったが、レジリエンスエンジニアリングに関しては現在も精力的な研究開発が続いている。とりわけ重要な展開として、システムや組織のレジリエンスを評価するための指標(Indicator)に関する研究が挙げられる。アウトカムに着目した指標は、前述の問題点を抱える上に本質的に遅れ指標(Lagging Indicator)であり予防的安全の実現には効果が薄い。実際に必要なのは先行指標(Leading Indicator)である。前掲のRAGも先行指標として位置づけられるが、これとは異なる先行指標についても研究が進展してお

り、今後の発展が期待できる。またレジリエンスエンジニアリングに密接に関連するテーマとして、トレードオフ問題がある。現実世界での意思決定は最適性の追求問題ではなく、限定合理性の制約下で様々なトレードオフ問題を解決する形で行われている。レジリエンスエンジニアリングと関係が特に深いのは、効率性と完全性のトレードオフ(Efficiency-Thoroughness Trade-Off: ETTO)である。これらの課題についての研究を通じて理解を深めることで、レジリエンスエンジニアリングの応用可能性も一層拡大することと予想される。

本稿では解説シリーズの第1回目として、手法の概要や今日的意義を説明するとともに、背景となる考え方を紹介することに努めた。安全に限らず新しい方法論を理解するに際しては、このような観点が欠かせないと思える。レジリエンスエンジニアリングは発展を続けている若い学術分野である。筆者の説明内容も現時点での個人的理解をベースとしたものであり、不十分な点もあると思われる。それらについては後続する執筆者の皆様ぜひ補足をお願いしたい。なお、若い学術分野では相対的に参入障壁は低いはずである。興味を持つ研究者、実務者の方々の積極的な参画を期待する次第である。

－ 参考資料 －

- 1) J.Reason, Achieving a Safety Culture, Work & Stress, 12(3), 293-306 (1998).
- 2) E.Hollnagel, D.D.Woods, N.Leveson, (Eds.), Resilience Engineering: Concepts and Precepts, Ashgate Publishing Co., (2006).
- 3) E.Hollnagel, J.Paries, D.D.Woods, J.Wreathall, Resilience Engineering in Practice, Ashgate Publishing Co., (2011).
- 4) J.Reason, The Human Contribution, unsafe acts, accidents and heroic recoveries, Ashgate Publishing Co., (2008).
- 5) S.W.A.Dekker, Just Culture, Balancing Safety and Accountability, Ashgate Publishing Co., (2007).
- 6) 北村正晴, 理念を実践につなぐ; 求められているのは具現化への道筋, 日本原子力学会誌, 55 (4), 212-216 (2013)
- 7) E. Hollnagel, D.D.Woods, Joint Cognitive Systems; Foundation of Cognitive Systems Engineering, CRC Press, Taylor & Francis Group, (2005).
- 8) E. Hollnagel, RAG- The Resilience Analysis Grid, Epilogue of 3), (2011).
- 9) 北村正晴, 狩川大輔, 高橋信, 石橋明, レジリエンス指向型安全支援研究(1) - 組織レジリエンスの評価と可視化, Proceedings of the Human Interface Symposium 2012, 35-40 (2012).

著者紹介

北村正晴 (きたむら・まさはる)

(株)テムス研究所

(専門分野/関心分野) ヒューマンファクター, 組織マネジメント, 市民と専門家の対話など