

第 121 回 SNJ 定例会（ハイブリッド形式）議事録案

◎ 件 名 第 121 回 SNJ 定例会（ハイブリッド形式）議事録

◎ 日 時 令和 7 年 6 月 6 日（金）15:00-17:40

◎ 出席者 14 名

各位

日本大学	中村			G・O・P 株式会社	
	高橋				
大同信号	寺田			北陽電機	
JR 東日本	川野			東京理科大学	
有人宇宙システム	野本			株式会社コア	
	広瀬			海上・港湾・航空 技術研究所	柚井
長岡技術科学大学				日本ヒューマン ファクター研究所	本江
コレムラ技研				西日本電気テック	
村田機械株式会社				しくみデザイン Lab.	
ナミックス株式会社				ピルツジャパン	リジベル
京三製作所	高田				太田
					杉原

I. 発表「ISO45001 認証を活用した労働安全衛生管理の継続的向上」会員

II. 講演「レジリエンスエンジニアリング概論」広瀬（抜粋）

- レジリエンスとは、不測の事態によりシステムの安全が一時的に損なわれたとしても、破局的な状況を回避し、動き続ける力。
- Safety-I は失敗の要因を分析・特定・排除することで安全を確保する。
- Safety-II は物事が成功する要因まで分析・理解・活用することで安全を強化する。
- FRAM (Functional Resonance Analysis Method) は、レジリエンス・エンジニアリングのために提案された分析手法。
- FRAM では社会・技術システムを機能同士の依存関係で表現する。
- ここまでの話は、さまざまな書物にも書かれていることであるが、それぞれの繋がりについては分かりにくい部分も多い。本講演では、その繋がりを意識しながらレジリエンスエンジニアリングの全体像を説明した。

レジリエンスとは

- レジリエンスを辞書で引くと、もともとは心理学の領域におけるストレスの克服や、固体力学の領域で言われる「弾性力」といった意味合いで使われていることが分かる。
- 「レジリエンスエンジニアリングというレジリエンス」の元となったのは、C. S. Holling のいう「生態系のレジリエンス」。
- Holling は、ある生物の種の生存数が、気候変動の影響や捕食者の攻撃などを受け変動した際、元の生存数に戻る能力をロバストネス、変動を続けながらも、今の環境に適した生存数（形態）の状態へ次々と移ろいゆく能力をレジリエンスと呼んだ。
- よって、改めて「レジリエンスエンジニアリングで言うレジリエンス」とは、自身や周囲環境の継続的な変動および、その相互作用を通じ、「系として次の Acceptable な状態」に向かって生き延びていく能力。
- したがって回復力や復元力というより、系自身や周辺環境のゆらぎ、またその相互作用を利用し前進・進化する力（能力）と言った方が適切である。
- たとえば震災復興の目的も、街を地震発生直前の状態に戻したいわけではなく、大震災という逆境を克服し、災害に強い街として生まれ変わる（進化する）ことといえる。

Safety-I、Safety-II とは

- 例によって安全を辞書で引くと、「危険でないこと」といった説明が多く出てくる。すなわち、「安全である」ことは「危険でない」ことによって示されるという、ある種の逆説的な構造がそこにある。
- したがって多くの安全対策は「危険でないこと」の実現に重きが置かれ、レジリエンスエンジニアリングではこのようなアプローチを Safety-I と呼んでいる。
- Safety-I 的な安全対策は確かに重要であり、ある程度の所までは有効である。しかしここでホルナゲルが指摘するのは、危険を排除し続けた先にある、一時的な「リスクや危険のない世界」の危うさである。
- 人々が安全を意識し、対策を講じるのは、多くの場合「何か良からぬことがあった時」である。よって誤解を恐れずに言えば、「安全対策の源」はリスクや危険な事象より得られるフィードバックが大部分を占める。
- Safety-I に基づく安全対策を推し進めることがリスクや危険な事象の低減に繋がることになるが、このとき人々は、上記の「安全対策の源（フィードバック）」も逆説的に喪う事となる。
- このようにフィードバックを喪失し、特定の状態にとどまり続けることの危険性は、上記の「生態系のレジリエンス」でも言及されており、また日本国内における組織論の研究などでも示唆されている。
- 以上を踏まえ Safety-II という物を考えると、これは単なる「褒めて伸ばす」的な考えや「過剰な現場主義」を肯定するものではない。

- たとえ Safety-I 的なアプローチを極め、リスクや危険な事象が完全に消失したとしても、その「物事がなぜ上手くいくか」に着目すれば、上記のフィードバックが絶えることはない。
- よって Safety-II は、外部環境の変化へアンテナを張り（フィードバックを絶やさず）、変化に対し自身を適応させ強く進化し続ける（≒レジリエンスを発揮する）ための考え方と言える。
- とはいっても、「物事がなぜ上手くいくか」を普段の生活や仕事、作業の中で見たり感じたりすることは難しい。そのような事象をモデルとして理解するための方法論として FRAM がある。

FRAM について（一般的な話）

- FRAM はタスクや工程を 1 つのシステムと捉え、人が理解しやすい形でモデル化するための方法論。
- FRAM では対象を機能のモデルとして表現する。
- ここで「機能」という言葉と対になる言葉に「構造」がある。ここで言う機能とは、ある人工物が満たすべき要件ともいえるもので、構造とは、その機能を実現するために具現化されたものである。たとえば椅子の機能は「座る人を支えること」だが、この機能を実現するための構造（椅子の形）は座椅子、ダイニングチェア、ロッキングチェアなど、さまざまなタイプが存在する。
- FRAM が機能という要素に着目する大きな理由は、上記の例の通り、機能が物事の本質ともいえる部分を表し、さらに社会・技術システムにおけるヒト・モノ・コトを同じ表現レベルで記述できるためと言える。

FRAM について（分析例）

例 1：熟練船長・航海士の成功要因分析

- FRAM による熟練船長・航海士の成功要因分析を行い、その結果に基づき避航操船アルゴリズムを実装した。
- 船長のインタビューによると、船長は操船する際、航法に従わなければならない状況をできるだけ避けており、自身の行動が制限されないうちに避航行動をとることが操船の大きな秘訣である。

例 2：鉄鋼生産ラインのゆらぎ解析

- 製鉄業における生産ラインにゆらぎが生じた際の影響を、過去に実装した FRAM シミュレータで分析した。
- シミュレーション結果によると、上流工程のスタックという「ゆらぎ」に対し現場の作業員が介入する際、そのタイミングが重要であった。特に介入のタイミングは速すぎとも遅すぎてもダメであり、系の状態がある程度不安定になってから介入するのが最も効果的であるという結果が得られた。
- このような結果は複雑系の領域で見られる現象を想起させるものでもあった。
- このような「不安定さを安全のために使う」という方策に似た現象は、航空や宇宙の領域、また自然界の「群れの行動」などにも見られるとの報告がある。

例 3：レベル 3 自動運転の件原因移譲問題

- レベル 3 の自動運転の妥当性検証のため、自動運転時の状況認識および意思決定プロセスを、Endsley の提唱する状況認識モデルも参考に FRAM でモデル化した。
- これまでの研究では、危険を検知して、人が運転を適切に引き継ぐ (TOR) までの条件に関する研究が多数行われて来たが、特定の状況を想定し、TOR の平均値や固定の状況を求めるアプローチでは不十分であることが指摘されている。
- 研究の結果、たとえ自動運転中であっても、ドライバは状況認識を Endsley のモデルでいうレベル 1 から確立している必要がある。すなわちドライバは、緊急事態に「何が起きて、それがなぜ起きて、この先どうなるか」ということを自分自身の頭で理解しなければならず、自動運転中といえど、運転状況のモニタリング作業は必須である。
- 一方で、このような自動システムのモニタリングタスクは非常に認知負荷の高い作業であることが、航空の領域などを中心に指摘されている。

- 航空機のパイロットという「自動化の扱いを訓練されたプロ」ですらそのような状況であり、一般のドライバが同様の監視作業をどこまで適切に行えるかには疑問が残る。
- 総じて「緊急時は人間が対応」という設計思想には無理があり、100%の自動化でも実現しない限り、人と機械の協調は今後も必須である。

例4：あるレストランで熟練シェフがステーキの焼き加減を管理する戦略

- 人間の認知と熟練者の特徴について調査した先行研究がある。この研究ではケーススタディとして、あるレストランでステーキを焼くシェフの手さばきを観察した。その結果、焼き加減を管理する方法が熟練度によって異なり、それはおよそ3つの戦略に分類できることが分かった。
- その3つの戦略とは、①手あたり次第焼くランダムグループ（初心者）、②肉を3つの場所に分けて焼く位置制御グループ（中級）、③肉を焼く位置を分け、さらに肉を一定の速度で移動しながら焼く位置・速度制御グループ（熟練）。
- それぞれの戦略をFRAMで表しゆらぎ解析を行った結果、「混雑時の大量の注文」というゆらぎに対し、③の熟練シェフのみがゆらぎの影響を抑えることができた一方、他の2つのグループではゆらぎの影響を収めることができなかった。
- この例では、位置制御によって時間の管理を行う機能、一定の速度で肉を移動することによる焼き上がりに対する現状チェックの機能が追加されたことで、物理的な手数は増えたが、ゆらぎへの耐性が強化されたようだ。
- これに関連して、サイバネティクスの中で提唱される必要多様度の法則（Law of Requisite Variety）という物がある。これは不確実性に打ち勝つためには、人を始めとした行動主体の多様性を増やすことが必須（Only variety can destroy variety）であるという理論であるが、上記の先行研究でも、この理論に基づくシェフの戦略への言及がなされていた。
- 今回のシミュレーションは、この法則をFRAMでも改めて確かめてみたものと言える。ただし上記の「多様性」という物が、単に機能や機能間の結合の数だけで説明できるものか否かは今後更なる議論が必要。
- レジリエンスエンジニアリングでは、上記のような「多様性」も重要なキーワードとなっているため、系の多様性とレジリエンスの関係については個人的にも大きな関心があり、今後も研究を続けていく予定。

II. 質疑応答（Q=質問、A=回答、C=コメント）

- Q1 FRAMは教育目的では有益だと思うが、暗黙知が含まれると思う。実務で使う場合、暗黙知をどうすればよいかご教示いただきたい。
- A1 FRAMは普段やっていることをボトムアップ的にモデル化し、目に見える形で示すコミュニケーションツールであると考え。一方で「完璧なモデル」というものを作るのは原理的に不可能であり、そこは必要に応じて適宜アップデートが加えられていく事となる。
- C1 FRAMのモデルが鉄道の結線図のように直感的にわかるようになれば、使いやすいと思う。
- C2 分析結果を表す最終的なグラフは理解しやすいので、できあがっているもの（アーキテクチャ）の分析に使用するとよいのではないか。
- Q2 ステーキを焼く例で、肉を何枚焼いているかによって結果が違うのではないか。
- A2 このシミュレーションでは数量は考慮していない。FRAMでは状況は考慮せず、その作業自体を考慮する。これは機能と構造の対比の話とも関連するが、FRAMは機能レベルでの検証を行っている。もし枚数などの具体的な条件を調べるのであれば、このFRAM分析を基にしたシミュレータや実験環境（≒構造）を設定し、検証していくことになる。
- Q3 FRAMは現実をわかりやすく説明するには優れていると思う。社会実装するにはどうすればよいのか。
- A3 FRAMによって気づくことがある。分析結果も説明に使える。
- Q4 国際規格ではKPIを明確にするが、その根拠としてFRAMが役立つのではないか。
- A4 FRAMは「何となくわかっている事」をエビデンスと共に示すのに役立つと考える。説明の中で自転車の乗り方を口で説明するのが難しいという話もしたが、世の中には「頭の中では分かっている

るがそれを見聞き出来る形で示すのが難しい物」で溢れている。このようなものを表現・理解するためには「モデル」が必須であり、FRAMがそのための手段として使えるのは仰る通りだと思う。

- Q5 航空・宇宙官制では不安定な状況にしておく方がかえって安全と仰ったが、これについて説明していただきたい。
- A5 レジリエンスエンジニアリングの書物などで明示的に書かれているわけではないが、本日紹介した文献などの話を統合すると、レジリエンスを発揮するには、ある種の「不安定さ」が必要となる。直観的には「安定」な状態の方が良いように見えるが、ある1つの状態で完全に安定してしまった系は、特定の状況に対し非常に強靱となれる一方、状況の変化には非常に脆弱となってしまう。本日示したFRAM分析の例は、いずれもそのような事に関連する事象なのではと考えている。
- Q6 具体的に現場で揺らぎを高めるにはどうすればよいかわからない。Safety-Iでは事故は少なくなるが、揺らぎも少なくなる。
- A6 現場レベルの例を出すと、航空機の操縦や工場での作業員の視線移動について調査された研究がある。いずれの場合も作業中は様々な箇所に目線を配らなければならないが、初心者と比べ熟練者の視線移動パターンはやはり多様であるという。またそのような作業員へのインタビューの中でも、初心者や中級者は「この画面のここを見てればいい」といった具体的な話をしていたのに対し、熟練者は「〇〇の状態を△△にするために・・・」といった、より大きな目的を意識した発話が多かった。作業員レベルでは「視線移動を多様に保つこと」というのが1つゆらぎを高めるための要件となるが、もう少し組織的なレベルで言うと「これさえ守っておけばいい」とか「今までこうしてきたから大丈夫」といった状況を作らないことが重要と思う。

III 連絡事項

今回は2025年10月24日（金）に創立25周年記念講演会を開催する。事前に会員向けのオンライン説明会を開催する。詳細は後日メールにて連絡。

IV 審議事項

なし

以上