

社会・技術システムの「安全」と
レジリエンス・エンジニアリング
Safety of Socio-Technical Systems
and Resilience Engineering

北村正晴

東北大学名誉教授／(株)テムス研究所 所長

Masaharu Kitamura

Research Institute for Technology Management Strategy (TeMS)

研究履歴

- 1964, 東北大学工卒業, **原研JRR-1**で共同研究
 - 東北大学大学院工学研究科原子力工学専攻へ進学
- 1968~70: **日立製作所**(中央研究所王禅寺分室)
- 1970, 東北大学助手(工学部)
- 1970~76; **原研外来研究員**。原子炉制御研究室
- 1978~80: **ORNL, University of Tennessee**
- 1980~85: **動燃事業団**大洗研究センターで外来研究員
 - 原子力計測工学、人間機械システム論, ヒューマンファクター、組織安全、技術倫理
- 1992~東北大学教授, 原子核工学専攻核計測計装講座
- 2005 定年, 東北大学未来科学技術共同研究センター客員教授,
- 2010~**レジリエンスエンジニアリング**(Resilience Engineering)
- 2012~株式会社テムス研究所 所長

社会技術システム(SOCIO-TECHNICAL SYSTEM)とは？

- 社会技術システム＝ロンドンのTavistock研究所で進められていた労働の科学的研究の過程で得られた知見
 - ◆ 技術システムのあり方と、そこで働く人びとの社会的挙動の間には密接な関わりが存在するという観察結果を踏まえた提唱された概念(1960)を起源。
- 社会技術システム＝電力、情報通信、旅客輸送や物流、金融、医療など、現代社会存立の基盤をなすシステム(すなわち**重要インフラ**)はすべて社会技術システム

航空管制官の
執務状況写真

中央給電指令所の
執務状況写真

社会技術システム(SOCIO-TECHNICAL SYSTEM) ?

- 社会技術システムという表記を採用する理由
- 当該システム = 技術的システム U 社会的システム
 - ◆ どちらか一方のシステムだけを独立にとりあげて分析しても、実践上有用な知見は得られない。
- 社会技術システムの機能障害 ⇒ 社会の安全基盤を揺るがす ⇒ その機能維持はきわめて重大な社会的要件
 - ◆ 社会技術システムは相互に結合し影響関係にある ⇒ システムのシステム, またはSocio-technical habitatを形成

救急手術室の
状況写真

航空機コック
ピットの様子

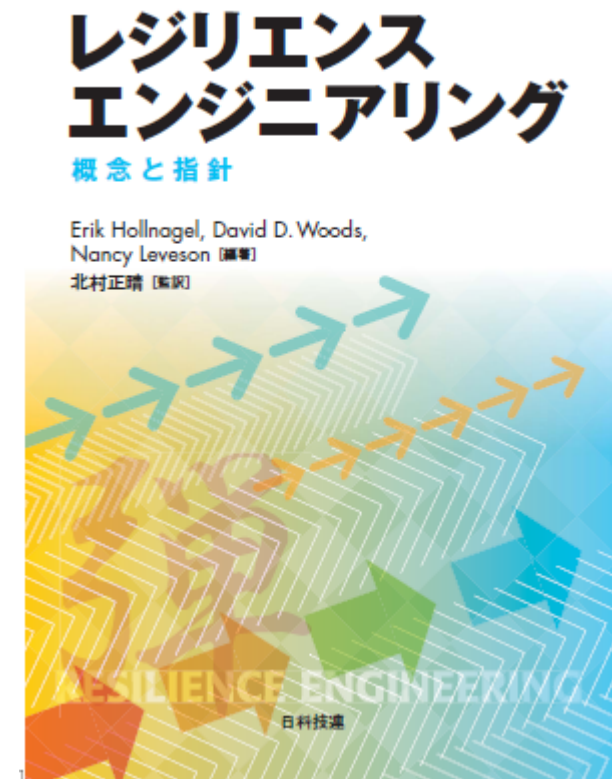
本講義の立ち位置

- 社会技術システムは複雑化の一途をたどっている
 - ◆ Moore's Lawは大規模半導体集積回路(LSI)についてのものだが、同様な複雑化は他分野にも及んでいる。
 - ◆ 毎年1兆個規模の大量のセンサーを社会が消費し活用する、センサー・ネットワークが張り巡らされた「Trillion Sensors Universe」実現が目標: Trillion Sensors Summit 2015 @Orlando, Florida
- 安全対策の方法論 (Methodology of Safety Manag.)
 - ◆ 昔のままの悪い(故障した)箇所と見つけて(find)修正する(fix)方式(**find and fix approach**)が支配的。これでOK?
- 本講義: Safety-II 概念とレジリエンスエンジニアリングを参考に、新しい安全対策の方法論提示

レジリエンスエンジニアリングの発展

DEVELOPMENT OF RESILIENCE ENGINEERING

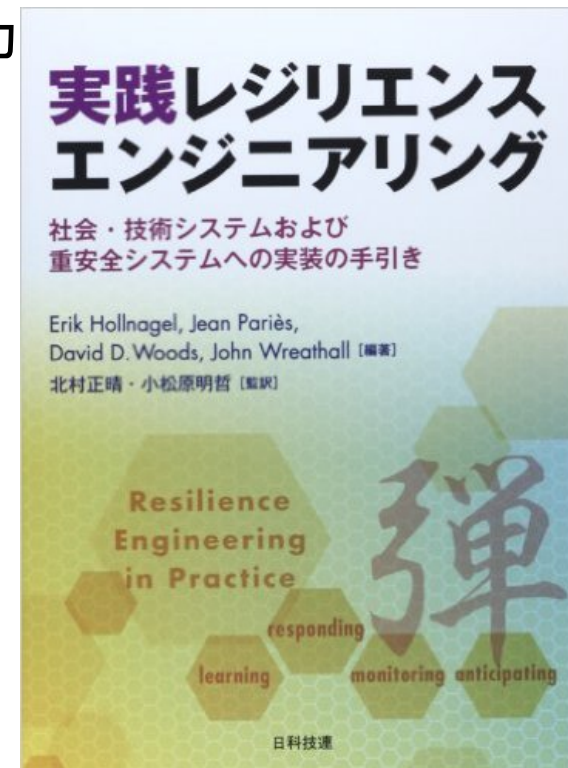
- Erik Hollnagel, D.D.Woods, **Nancy Leveson** (eds.): Resilience Engineering, Concepts and Precepts, Ashgate Publishing Co., 2006
 - ◆ 北村正晴監訳, レジリエンスエンジニアリング, 概念と指針, 日科技連, 2012
 - ◆ 原著刊行から6年後
 - ◆ 内容的には開発途上
 - ◆ 新しい学術分野創成期の知見
=できあがった理論の学習とは
異なった「知」をもたらす。
 - ◆ どのような思索を経て生まれたか
 - ◆ 重要な考察や提案, 事例等を含む



レジリエンスエンジニアリングの発展

DEVELOPMENT OF RESILIENCE ENGINEERING

- Erik Hollnagel et al.(eds.): Resilience Engineering in Practice, Ashgate Publishing Company, 2011
 - ◆ 北村正晴, 小松原明哲(監訳), 実践レジリエンスエンジニアリング, 日科技連, 2014
 - ◆ レジリエンスエンジニアリングの基本4能力
 - ◆ {対処, 監視, 予見, 学習}の重要性
 - ◆ 各能力の意義と強化の指針
 - ◆ 導入上の問題点に関する考察

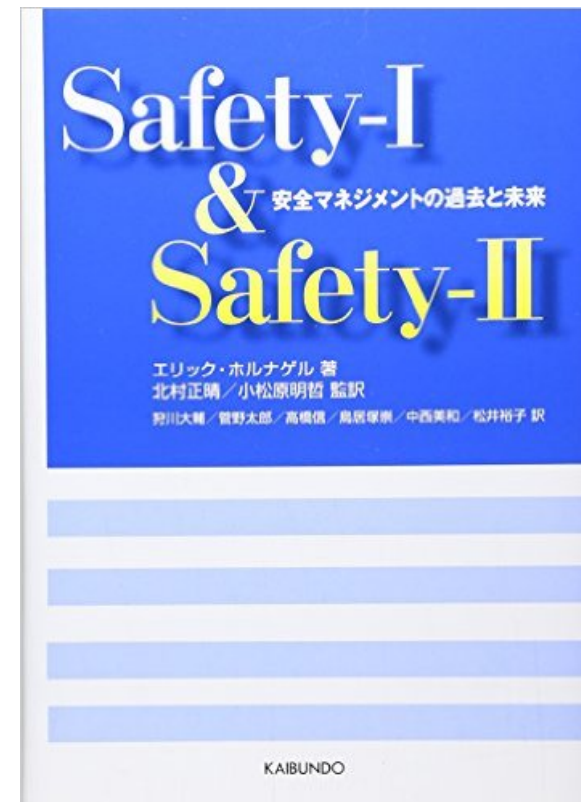


レジリエンスエンジニアリングの発展

DEVELOPMENT OF RESILIENCE ENGINEERING

□ Erik Hollnagel: Safety- I and Safety- II , The Past and Future of Safety Management, Ashgate Publishing Company, 2014

- ◆ 北村正晴, 小松原明哲(監訳), Safety- I & Safety- II , 安全マネジメントの過去と現在, 海文堂, 2015
- ◆ レジリエンスエンジニアリングの哲学的背景の記述
- ◆ 新しい「安全」の定義
- ◆ Safety- I :「なぜうまくいかなかったか」を考え, 失敗, 欠点を除いて行く
- ◆ Safety- II :「なぜうまくいっているのか」に着目し, 人間による「調整」の可能性を拡大する



レジリエントなシステムとは？

WHAT IS A RESILIENT SYSTEM?

- 「レジリエンス」の辞書的な意味：弾力性，復元性，心理的な立ち直り能力などを指す
- 安全学での意味：下記要件を充たすシステムを，レジリエント・システムと呼ぶ
 - ◆ 基本認識：社会技術システムでは，システム自身もシステム環境も，確定的ではなく時間とともに変化する
 - ◆ 要件1：システムは変化に対応し動作を継続できる
 - ◆ 要件2：それが無理な場合は，非常時対応しつつ動作を継続，当然ながら，破滅的状态は全力で回避できる
 - ◆ 要件3：非常事態が解消したら，適宜正常時（またはそれに準じた状態）の動作に復帰することができる

本講義の枠組み

- 安全研究／HF研究発展の歴史
- REのニーズ(安全⇒「望ましい性質」)
- REの基本指針
- 基本指針の背景(Cognitive Systems Engineering)
- 実装
 - ◆ RAG(Resilience Analysis Grid)
 - ◆ 全体論的安全

人工物システム開発の歴史

HISTORICAL REVIEW OF ARTIFACT DESIGN

- ❑ 求められたのは常に新しい機能
- ❑ “Safety” was not an issue of first priority
- ❑ 産業革命の象徴＝蒸気機関
- ❑ これを用いた“高速”交通システム＝蒸気機関車による鉄道と、蒸気船>>多数の事故を経験
- ❑ 産業革命を出発点として、さらに様々な人工物システムが社会に導入され続けた。
- ❑ その導入過程では、無数の事故が経験されている。

安全設計(ハード)の方策はこれらの経験を踏まえながら進歩

- 設計指針となる経験的知識の集積
- 安全設計の方法進歩。
 - 高信頼性設計(品質、材料、設計上の余裕),
 - Fail Safe/Interlock/Fail Soft (Graceful Degradation)
 - 深層防護(Defense in Depth; DiD)
 - 自動化の導入(Automation; Elimination of Human Intervention)
 - Failure Mode and Effect Analysis: FMEA
 - Fault Tree Analysis: FTA
 - Hazard and Operability Study: HAZOP
- これらの手法の大部分: 1960年代以前に開発
- 社会技術システムの複雑さ: 当時と比較できないほど大

人間を含む安全工学発展の歴史

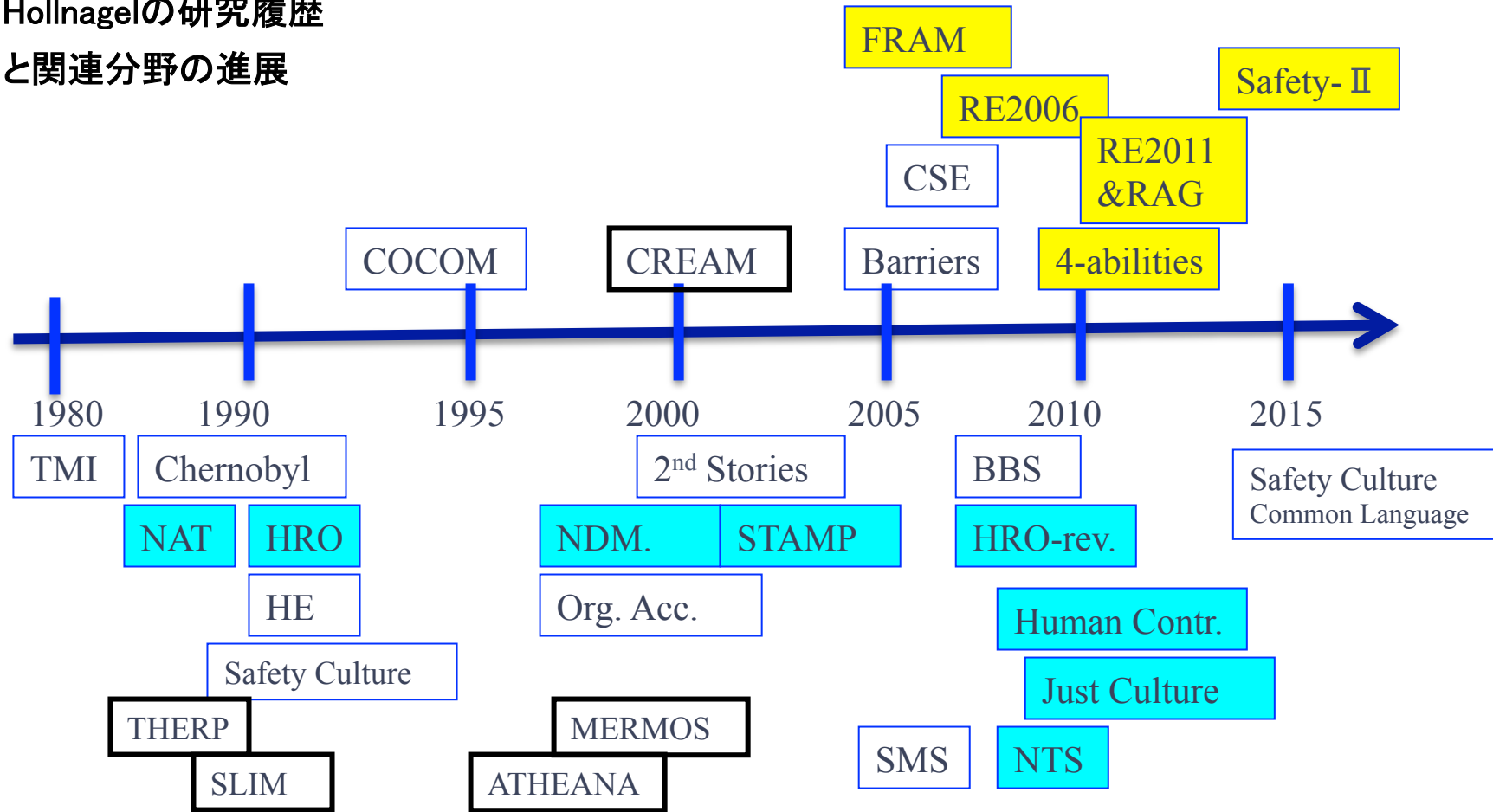
- スリーマイルアイランド(TMI)原子力発電所事故(1979.3)⇒Human Factors重要性
 - ◆ エラーの分類学
 - ◆ エラー起因の事故モデル
 - ◆ エラー分析法(m-SHELLモデル, 根本原因分析)
 - ◆ これらの知見は手順書, 訓練, 事故調査分析法などに反映され現場へ応用。
 - ◆ 産業安全や職場改善とつながる実務的手法と連携
 - ◆ 危険予知訓練(KYT), 5S(整理・整頓・清潔・清掃・躰)
 - ◆ 定量的人間信頼性評価(Human Reliability Analysis: HRA)のための様々な技法開発も。
 - THERP, SLIM-MAUD, CREAM, など。

人間を含む安全工学発展の歴史

- スペースシャトル(SS) Challenger (1986.1.28)
- Chernobyl NPP (1986.4.26)
- いずれの事故もOrganizational Accident
 - ◆ 改善への努力はあったが、シャトルも原子力発電所もその後の重大事故根絶には失敗
 - ◆ Columbia(2003.2.1)
 - ◆ Fukushima-Daiichi(2013.3.11)
- 品質マネジメントシステム(QMS)や安全マネジメントシステム(SMS)の現場導入も進捗しある程度定着。
- 困難の大幅低減には未到達。
- 新しい安全方法論⇒レジリエンスエンジニアリング

REの歴史+関連分野の展開(Hollnagelの研究を軸に体系化)

Hollnagelの研究履歴
と関連分野の進展



青枠は理論、概念、方法論など。

黒枠は人間信頼性解析(HRA)の手法

WHAT DO YOU MEAN BY “SAFETY”?

□ REのニーズ(安全⇒「望ましい性質」)

従来型「安全」依存の悲劇

- 「安全」を追求した結果の脆弱さを示す実例
 - 鉄筋3階建ての防災庁舎(宮城県南三陸町)
 - 巨大防潮堤(岩手県宮古市田老)

巨大防潮堤の写真

防災庁舎の写真

従来型「安全」依存の悲劇

- 「安全」を追求した結果の脆弱さを示す実例
 - 鉄筋3階建ての防災庁舎(宮城県南三陸町)
 - 巨大防潮堤(岩手県宮古市田老)

破壊されてしまった
巨大防潮堤の写真

防災庁舎の中で避難放送
を続け、犠牲になった南
三陸町職員のことを伝える
新聞記事

従来型安全を補完する方策例

悲劇は避けられたのではないか？
「安全」について別の見方の必要性

津波避難用ビルの写真1

津波避難用ビルの写真2

従来型「安全」策の機能不全

- 通常は「うまくいっている」システムが、突然故障

航空機チケット発券機の故障がもたらした混乱の現場

- Find and Fix 方策の限界？

銀行ATMが故障した時の混乱した現場写真

より望ましい特性としての「安全」 “SAFETY” FROM A BROADER PERSPECTIVE

- 様々な社会技術システムにおいて従来型の「安全」を超えた(flexible recovery)事例が報告されている
 - JR東日本仙石線野蒜駅での乗客誘導
 - 事前の規則(避難所へ誘導すること)を超えた柔軟な対処
 - 東京電力福島第一発電所での「最悪事態」回避
 - 1~4号炉の冷却を不十分ながら確保, 5,6号炉は冷温停止
 - 東北電力の震災対応
 - 女川発電所(震源地に1Fより近接)での良好事例
 - 大きな被害を受けた発送電網機能の迅速な回復(3日後に80%)
 - 国土交通省東北地方整備局の取り組み
 - 道路啓開への機動的取り組み(驚異的な啓開速度)
 - 防災への緊急発進
 - 日赤石巻病院での緊急対応

国土交通省東北地方整備局の対応

- 地震発生直後： 仙台空港の防災ヘリに緊急離陸を指示
 - 通常は地方整備局の職員同乗が基本。しかし事態の深刻さを予見した熊谷順子防災課長は緊急離陸という対処を提案，整備局長了承
 - 受託航空会社職員も緊急離陸要請を予見。機体の健全性を監視，動作不良の格納庫扉をカッターで切断する定形外対処で離陸を可能に。
 - ヘリパイロットから，大津波情報，被害の深刻さ情報第一報入手
- この情報をベースに緊急啓開体制を構築するという対処策

緊急離陸した防災ヘリが
送信した津波被害写真

緊急離陸した防災ヘリの
写真

現代社会の安全基盤

- あるしきい値を超えたスケールの外乱に対しても、全面的に機能を喪失してしまったシステムと、ある程度の機能を維持したシステムが存在していた
- カギになる概念＝レジリエンス

「安全」だけで表現されない「望ましい」特性

- 「望ましい」特性は，安全性の再定義も要請する。
- Safety- I
 - ◆ 望ましい状態を固定的に定義
 - 各装置，施設構造やその特性は確定
 - 期待される人間の行動も事前明示（マニュアル主義）
- Safety- II
 - ◆ 危険や失敗のダイナミックな回避＋復旧
 - ◆ システム（及びその環境）は不変ではなく変化を続けている。変化こそが本来の姿（常態）との認識が前提
 - ◆ 変化への対応＝人間による適切な調整

何に対してのレジリエンス？

□ **A Typology of Resilience Situations** by Ron Westrum
Chapter 5 of RE; Concepts and Precepts, Ashgate, 2006.

□ **Regular Threat: 標準的な脅威**

- ◆ 予測可能／何度も生起
- ◆ 医療施設での投薬過誤
- ◆ 地震多発国での地震脅威

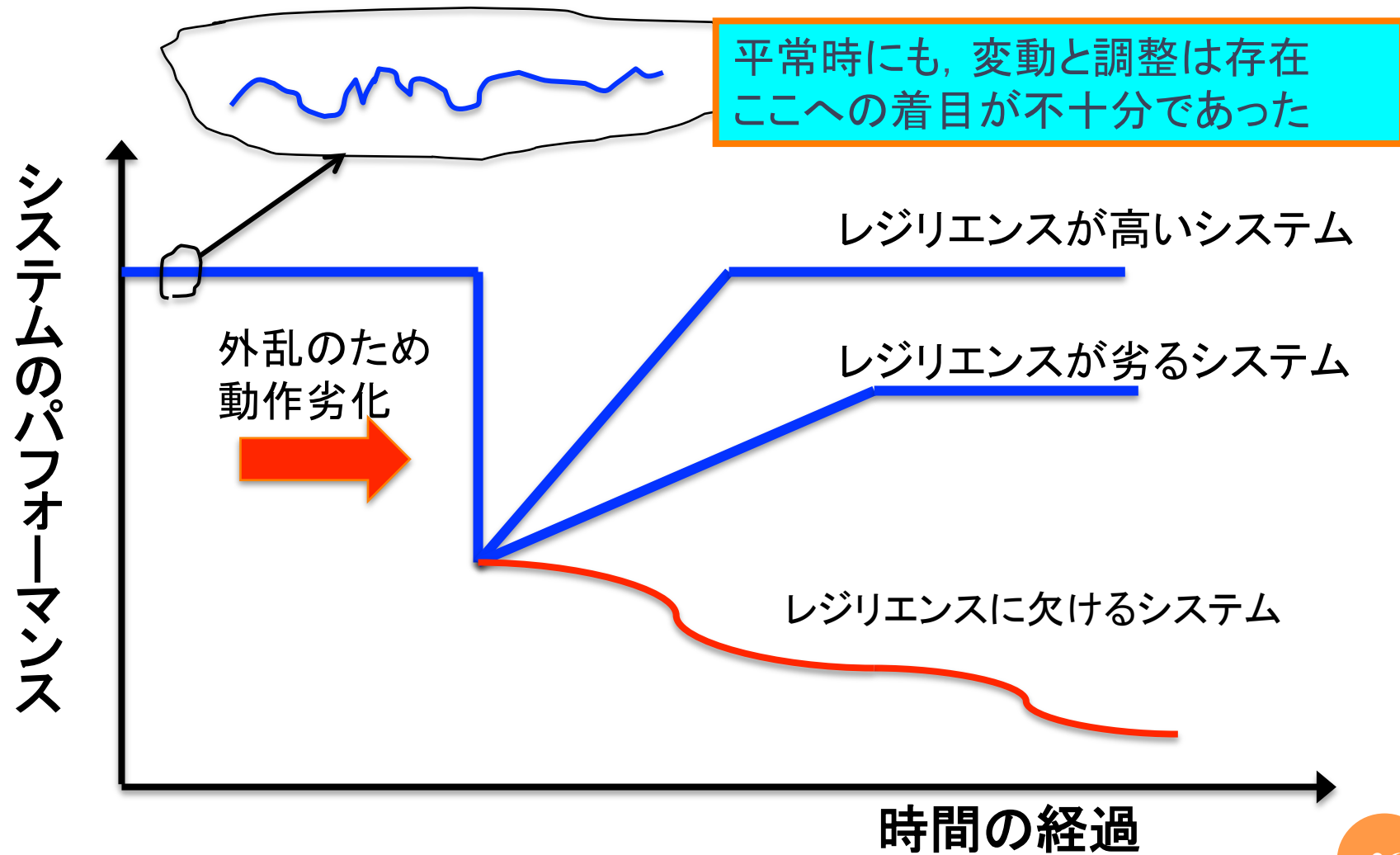
□ **Irregular Threat: 例外的な脅威**

- ◆ 想定可能だが事前対処は困難
- ◆ Apollo13号の事故
- ◆ Marez米軍基地(イラク)への自爆テロ

□ **Unexampled Event: 前例のない事象**

- ◆ Irregular Threatを超えた根本的心構え変更と即応的対応
- ◆ 世界貿易センタービルへの航空機突入
- ◆ チェルノブイリや福島第一の事故

新しい「安全」概念 Safety- II



多様なレベルの脅威(Threat)や事象(Event)に包括的に対処

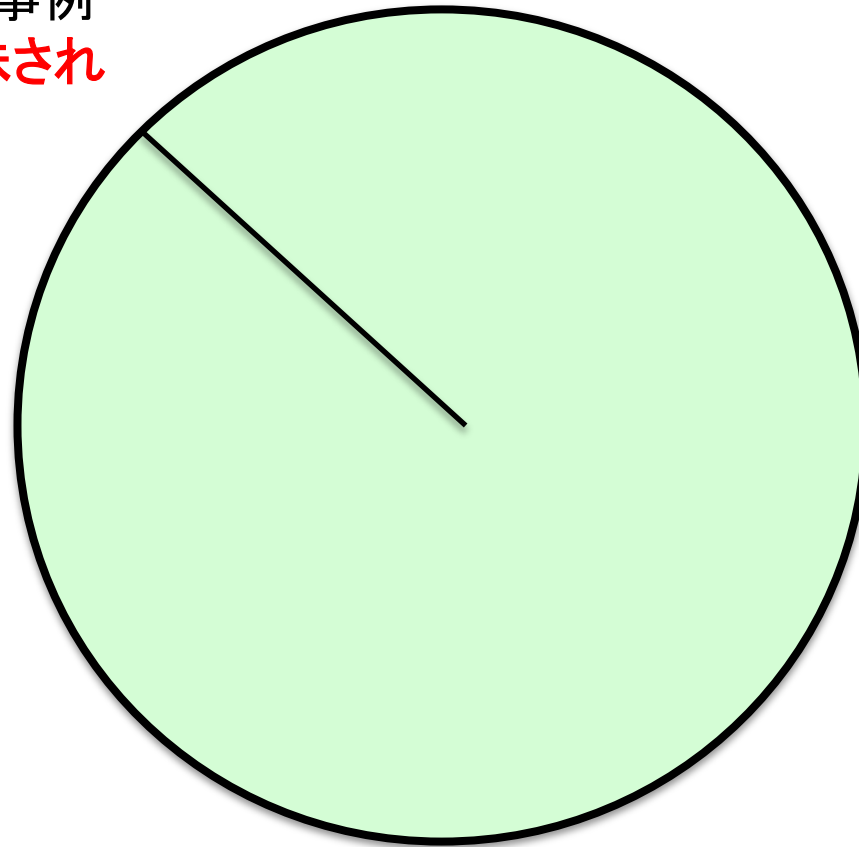
新しい「安全」概念Safety- II

□ 「変動」とそれへの対応調整の意義

- ◆ 様々な安全向上努力の結果, 社会・技術システムの安全性はそれなりに向上
- ◆ 事故の発生率は顕著に低下(交通, 建築, 医療・・・)
- ◆ 「失敗に着目する安全対策」: 一定の成果
- ◆ その結果, 航空機分野では, 世界で離着陸100万回あたりの全損事故件数は1件未満: $P_{(失敗)} < 10^{-6}$
- ◆ 日本の電力供給システムでは, 年間の停電時間10分以下が普通に ($P_{(失敗)} < 2 \times 10^{-5}$)
- ◆ いずれにしても, 異常・故障一回に対して多数の「正常」なミッション遂行がなされている。
- ◆ この「正常」なミッション遂行には目を向けなくていいか? 27

安全が高いレベルに達したシステムでの安全向上策は 何に目を向けるべきか？

10,000回に
1回の失敗事例
詳細に吟味され
教訓抽出



10,000回に
9,999回の良い
事例
詳細吟味の対象
外…これで良
いのか？

新しい「安全」概念Safety- II

- 変動とそれへの対応調整の意義
- 平常時のミッション遂行は(無事に見えても)様々な外乱や変動に適切に調整対処することで実現されている。
- 航空機の場合;地上滑走から離陸, 上昇, 水平飛行, 降下, 着陸, 滑走, 駐機まで, 各段階で細心な注意のもと, 様々な調整がなされている。
- 他にも, 船舶の操船, 救急医療施設での緊急手術, 電力システム(給電指令所)などを思い浮かべれば, 調整行為の重要性は明白

SAFETY-II の実現と レジリエンスエンジニアリング

- レジリエンスエンジニアリングでは、社会技術システムは以下のような特性を持つという捉えかたをする。
 - a. 対象システムもそのシステムを囲む環境も変化を続けている。変化していることが常態。
 - b. そのため対象システムの状態に関して完全な情報を獲得することはできない。限定された合理性 (Bounded Rationality by Herbert Simon) の範囲での意思決定が常態。

SAFETY-II の実現と レジリエンスエンジニアリング

- c. システムにとって重要な課題は、変化する条件下でも動作を継続すること。**動作の継続最優先であり安全最優先が目的ではない**。ただし安全は継続のための重要な要件である。それゆえ「動作の継続が最優先です」という主張が安全の軽視を意味するものではない。

SAFETY-Ⅱの実現と レジリエンスエンジニアリング

- レジリエントシステムの要件：次の4能力が保持されていること。
- 能力1 対処する(Responding)：今直ちに何をすべきか知っている
- 能力2 監視する(Monitoring)：事態の進行を何に注意を払って監視すべきか知っている
- 能力3 予見する(Anticipating)：さらにこの先どのような脅威と好機が出現しうるかを知っている
- 能力4 学習する(Learning)：過去の成功と失敗双方からどんな教訓を引きだすべきか知っている

SAFETY-Ⅱの実現と レジリエンスエンジニアリング

- この「4能力が重要」という指摘に対して、「当たり前のことを行っているだけ」という声に接することもある
- たしかに、「**対処**しつつ**監視**し、**予見**する」;さらにそれらの能力を適切なタイミングで「**学習**し更新する」ことで強化する;と文章化して見れば常識的な指針とも言える
- だが、「高いレジリエンスを有するシステム」の特性を、このように整理したこと:概念整理としても具体的指針としても、意義は大きい

基本指針の背景（船舶の航行）

安全に航行するためにどんな能力が必要か？

現在の場所、流れの状態、直面する危険などを認知し対処する
Responding



未来について起きうる
状況を推測し備える
Monitoring
Anticipating

過去の教訓を記憶し利用 Learning

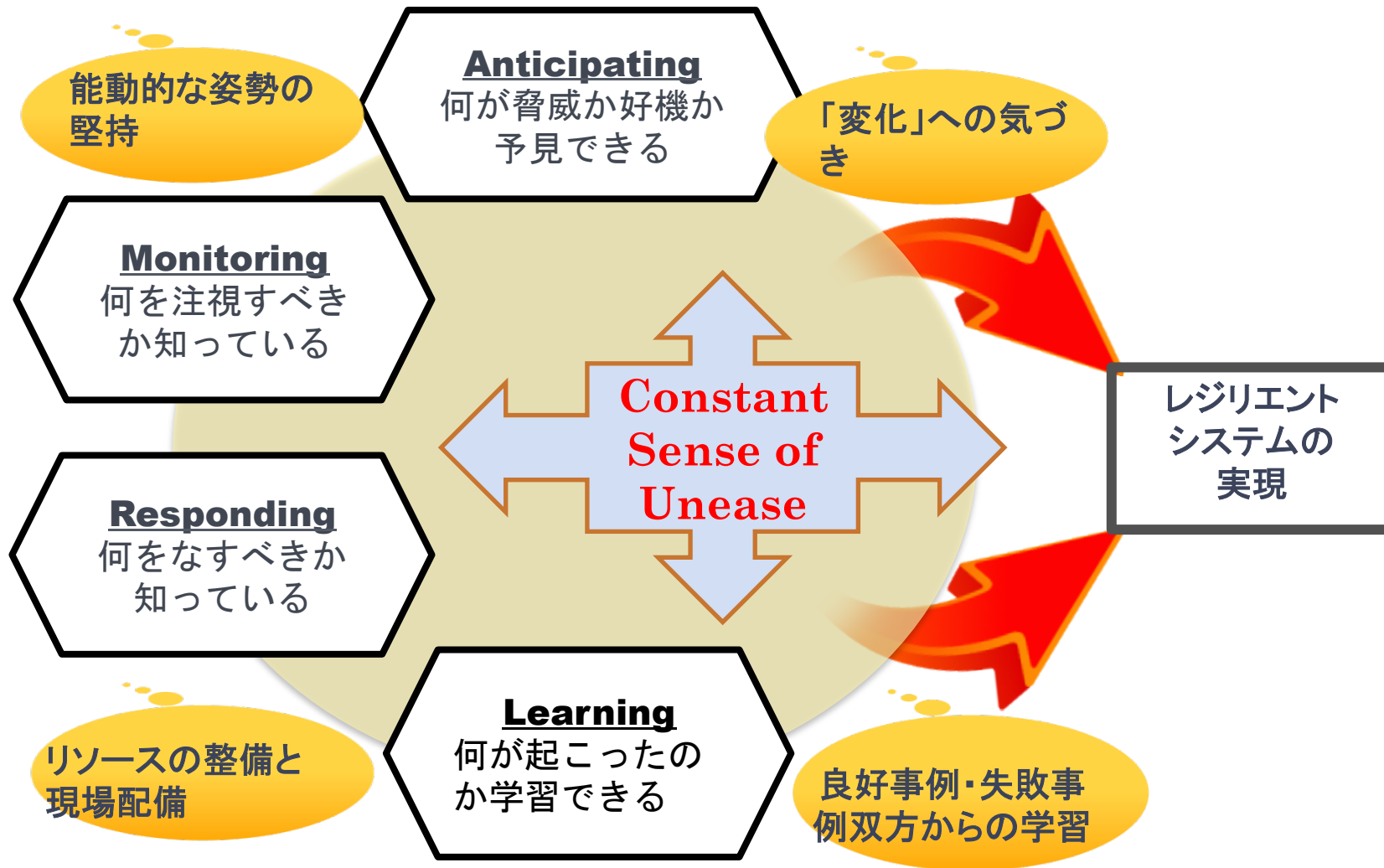


SAFETY-II の実現と レジリエンスエンジニアリング

- ここで、4能力が十分に機能するためには、どんな要件が必要か、考えてみるのが重要
 - ◆ 対処や監視には、**リソース**の適切な配備が不可欠
 - ◆ どんなリソースを、どこに配備するか？管理方式は？
 - ◆ {対処, 監視, 予見}作動のきっかけ＝変化や重要な情報への**気づき**が的確であること
 - ◆ どんな事象に着目するのか(例: 船舶の変針＝サイドスラスタ)
 - ◆ 能力の作動: 受動的より**能動的**(proactive rather than reactive)
 - ◆ 能動的対応(たとえば避難勧告)には、**犠牲**も伴う
 - ◆ 学習は失敗事例ばかりに目を向けるのではなく、**成功**または**良好事例も対象**とすることが必要
 - ◆ どこまでの事象, 時間スパンに着目するか？専門知必要

SAFETY-Ⅱの実現と レジリエンスエンジニアリング

- 4能力が効果的に機能するための補完的要件
 - ◆ **リソース**(装置, 機材, 物資, 人員など)の確保: 適正配備, そして柔軟な運用,
 - ◆ 変化への「**気づき**」(awareness)
 - ◆ **良好事例**を対象とした学習: 従来の学習は失敗事例についてだけで一面的。この制約を超えること。
 - ◆ **能動的**(proactive)姿勢の堅持: 自組織が上記能力を作動させるタイミングはいつか, また, 維持向上させているか, などについて能動的に, 評価し確認。
- 心構えを要約すれば, 警戒を怠らない心構え (**constant sense of unease**)を持つこと:



レジリエンスエンジニアリング主要4機能と補完的要件

レジリエンス/導入評価指針(IMPLEMENTATION)

- レジリエンスエンジニアリングが重視する4機能すなわち予見(anticipating), モニター(monitring), 対処(responding), 学習(learning)に着目したResilience Analysis/Assessment Grid (RAG)という質問紙調査方式(Hollnagel提案)
 - ◆ ただし具体的な組織への応用には適合化が必要
- 本研究では電力事業者の特定部門を対象としてRAG評価の適合化を試験的に実施. その際, 事業の特性を反映した適合化を導入している.
- 質問回答者の負担軽減, マネジメント層の受容促進を目指した, 段階的実装法についても検討。

予見能力評価用質問群 (PROTOTYPE)

- Q1:未来を予見する知識はどこから得ているか？
 - ◆ 社内検討のみか, アウトソーシング含むか？
- Q2:将来の脅威に関する評価の頻度は？
 - ◆ 定期的実施か, 不定期的か？
- Q3:予見された事象の伝達と組織内共有策は？
- Q4:組織は未来についてのモデルを有しているか？
 - ◆ モデルは明示的か暗黙か？「常識」レベルか？
- Q5:予見はどの程度の時間スパンについて実施？
- Q6:リスク受容／回避の(定量的)判断基準は？
- Q7:未来の脅威の性質は何か？
 - ◆ どんな脅威があってそれがどのように進展？
- Q8:組織文化の中でのリスク認識程度は？

予見能力評価用質問群 (TAILORING)

- Q1: 未来を予見する知識はどこから得ているか？
 - ◆ 社内検討のみか, アウトソーシング含むか？
 - ◆ 社内検討に加え, 他社情報や海外情報も利用している？
- Q2: 将来の脅威に関する評価の頻度は？
 - ◆ 定期的実施か, 不定期的か？
- Q3: 予見された事象の伝達と組織内共有策は？
- Q4: 組織は未来についてのモデルを有しているか？
 - ◆ モデルは明示的か暗黙か? 「常識」レベルか？
 - ◆ 未来を予見し計画するための基準・指針はあるか？

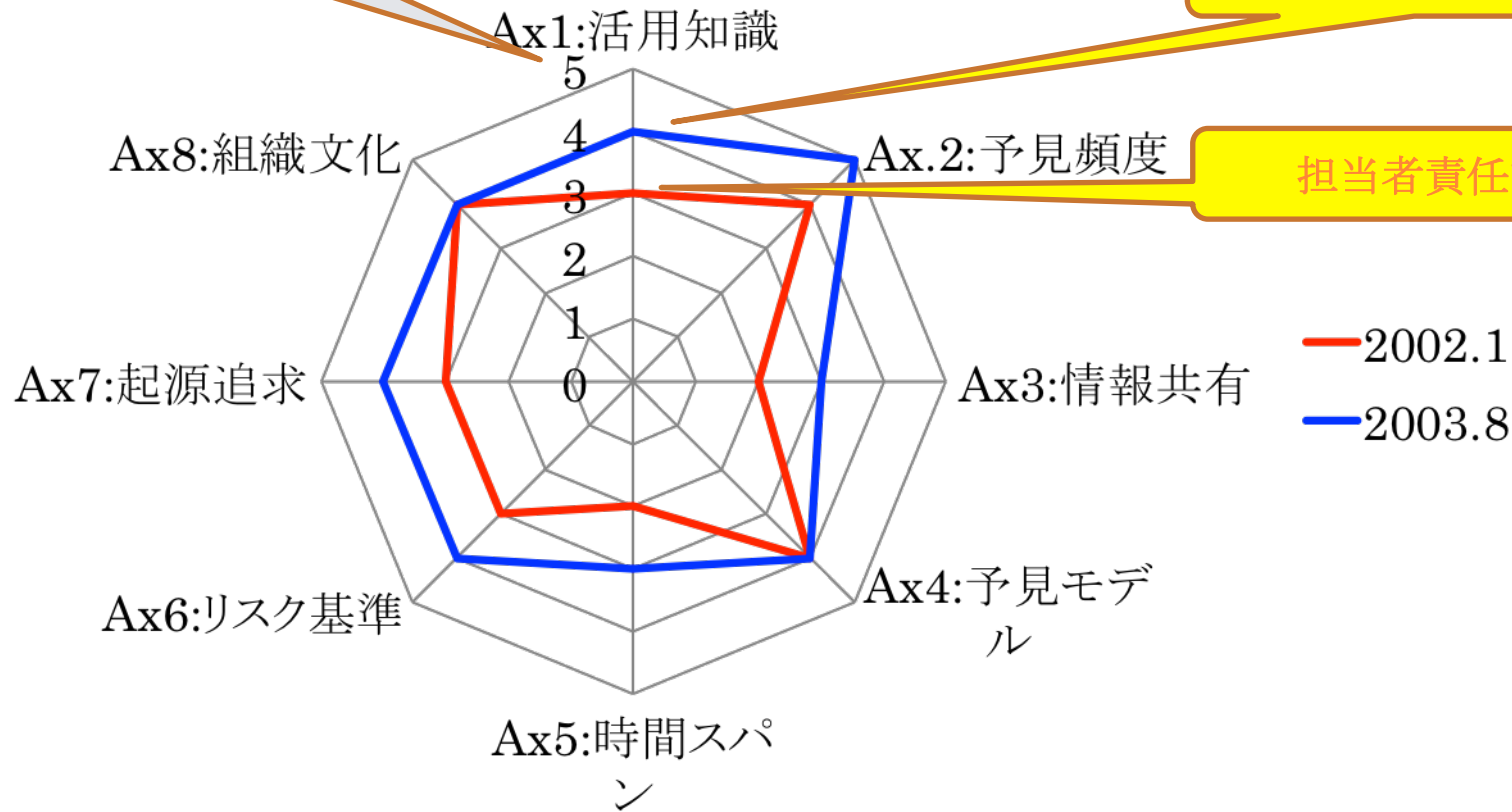
組織レジリエンスの状態遷移 (ANTICIPATING)

組織全体？
支援ツール？

予見知識の生成はどこで？

担当部門責任で予見

担当者責任で予見



SUMMARY (ここまでのまとめ)

- ❑ 複雑化する現代社会の安全問題を見直す必要
- ❑ 従来型の、「事故がなければ安全」、「許容できないリスクがなければ安全」という見方だけではやっていけず修正が必要
- ❑ 目指す安全の姿：従来の安全概念Safety-I に新しい安全概念Safety-II を追加すること必要
- ❑ Safety-II を実現するための方法論がレジリエンスエンジニアリング
- ❑ 実装の方策：RAG (Resilience Assessment Grid)
- ❑ FRAM (Functional Resonance Analysis Method)

SUMMARY (ここまでのまとめ)

Safety- II

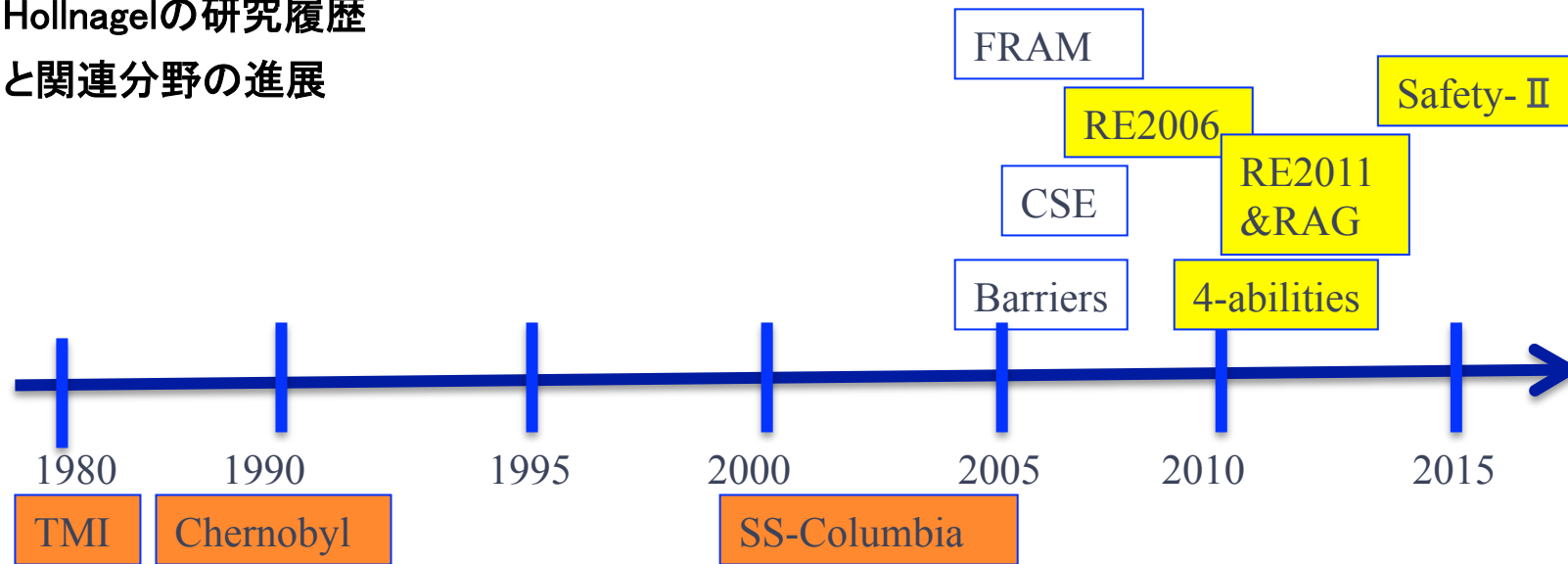
日常的に生じている外乱やシステム変化
(微小なものから大きなものまでの総体)
への対処と破局的状況回避能力を重視。
「うまくいっていること」に着目して安全を探求

Safety- I

事故やインシデント未然防止に注力
「うまくいかないこと」に着目し、その
原因を排除することで安全を探求

REの歴史+関連分野の展開(Hollnagelの研究を軸に体系化)

Hollnagelの研究履歴
と関連分野の進展



NAT: Normal Accident Theory

HRO: High Reliability Organization

STAMP: System-Theoretic Accident Model and Process
STPA: STAMP-Based Process Analysis

Beyond Normal Accidents and High Reliability Organizations: The Need for an Alternative Approach to Safety in Complex Systems

by Karen Marais, Nicolas Dulac, and Nancy Leveson, MIT

Charles Perrow introduced the idea that in some technological systems, accidents are inevitable or “normal” (1984). He defined two related dimensions—interactive complexity (干渉の複雑さ) and tight coupling (密な結合)—which he claimed together determine a system’s susceptibility to accidents.

- ◆ Perrow made an important contribution in identifying these two risk-increasing system characteristics. His conclusion, however, that accidents are inevitable in these systems and therefore systems for which accidents would have extremely serious consequences should not be built is overly pessimistic.
 - ◆ The flaw in the argument is that the only engineering solution he considers to improve safety is redundancy. The use of redundancy is not the only way to increase
- ◆ The most effective approaches involve eliminating hazards or significantly reducing their likelihood by means other than redundancy, for example, substituting non-hazardous materials for hazardous ones, reducing unnecessary complexity, decoupling, designing for controllability, monitoring, interlocks of various kinds, etc.
- ◆ Operations can also be made safer by eliminating and reducing the potential for human error.

- ◆ STAMP Methodology: Design for higher safety
- ◆ Resilience Engineering: Safety Management Methodology for Complex Socio-Technical Systems
- ◆ Implementation of Resilience Engineering
- ◆ Resilience Assessment Grid
- ◆ FRAM

東日本大震災への対処事例と レジリエンスエンジニアリング

国土交通省東北地方整備局の対応

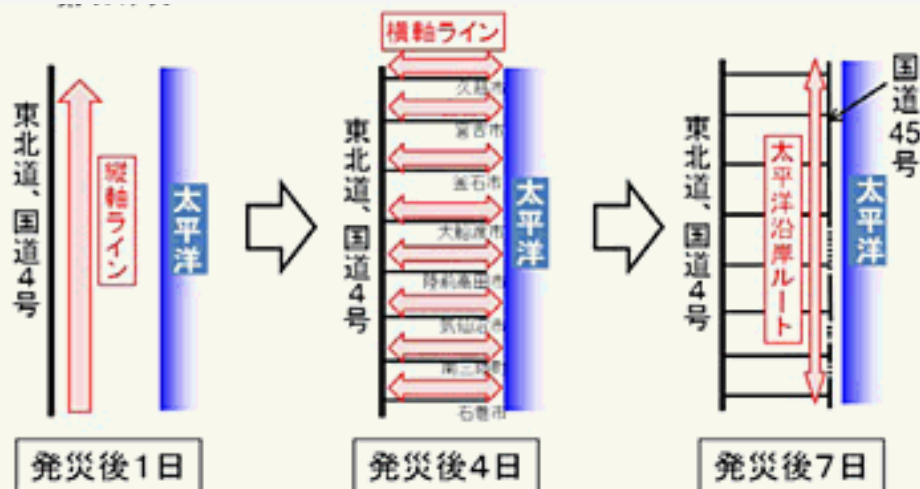
- 地震発生直後：徳山日出男東北地方整備局長の対応
 - 国道45号線，東北自動車道，重要な橋の機能を監視
 - 巨大広域災害を予見；「復旧」から「啓開」への対処方針切り替え
 - 国道4号からの通路啓開へ，国道事務所，国道維持出張所，民間の建設・土木業者の総力結集対処
 - 余震の襲来，津波の再襲来
家族の安否を懸念しながら
人員・機材確保，啓開要請対処
 - 行政機能を喪失した市町村
の困難を予見，役場等への
東北地方整備局職員派遣。
リエゾン活動に配備。
 - 省庁の壁を越えた災害対処
方策の実現

寸断された道路の啓開作業現場の写真

国土交通省東北地方整備局の対応

- ◆ 発災後、わずか1日で、国道4号線、東北自動車道の啓開を完了
- ◆ 東西の道路啓開は3月15日に完了しているが、15ルート中11ルートについては3月12日中に啓開完了
- ◆ 太平洋沿岸部を結ぶ国道45号線、国道6号線についても3月18日中に97%の啓開を完了
- ◆ これらの啓開作業は、家族が被災している地元の協力企業従業員が、相次ぐ余震の中で実施

国道4号から各路線経由で
国道45号及び国道6号までの啓開状況



資料) 国土交通省

国土交通省白書2011より

東北電力の停電からの復旧

- 太平洋側の火力発電所、送電・変電・配電設備が大きな被害を受け、供給力1500万キロワットのうち800万キロワットが喪失
- 停電地域は青森、岩手、秋田、宮城県の全域、山形県のほぼ全域と福島県の一部、延べ約486万戸
- 3日後には80%復旧

停電戸数の減少実績を示す図

東北電力の停電からの復旧

- 新潟支店からの応援チーム第一陣375人は、15時30分段階で、正式の要請発令を得る前に**能動的な対処**行動を開始
 - ◆ 復旧に必要と想定される**リソース**(資機材)はもちろん、食料、水、テントなどの**自給用リソース**も用意して出発
 - ◆ 震災から48時間後には、新潟支店は所属する全配電部員の60%に当たる約700人を仙台方面に派遣：本店は、送電網の異常検出、状況確認などの**監視**活動のためヘリコプターを7機確保し活用
 - ◆ 背景には、地震・津波についての**学習**および**予見**と、周到なリソースの事前配備が挙げられる。

東電福島第一5/6号機水素爆発の防止

- ◆ 福島第一発電所では1, 3, 4号機で水素爆発
 - ◆ 停止していた4号機での爆発から, 5/6号機での水素爆発も**予見**
 - ◆ 危機の迫る5/6号機の建屋にベントホールの工事という**対処**策を計画: 作業を大手ゼネコンに依頼: ゼネコンは**機材(リソース)**は提供したが作業は拒絶



爆発した4号機原子炉建屋

写真: 東京電力事故調査報告書より

東電福島第一5, 6号機水素爆発の防止

- 社員が自ら作業をしようと現場に向かう途中JVで地元工務店の所長と出会い、経緯を説明
- 所長は**対処**作業を**能動的**に引き受け。これまでの信頼関係による業務を超えた判断。
- 所長と社員は作業現場へ：
最後穴を貫通させる場面では爆発の恐れも懸念しつつも、**対処**作業完遂：
その後の5, 6号機冷温停止戦略への大きな一歩
- 緊急時の「時間を稼ぐ」行為は、緊急時**対処**の優れた実践知



54

写真は東京電力事故調査報告書より

事例調査の結果から

- これらの事例:レジリエンスエンジニアリングの提示する**基本4能力**や**補完的要件**が, 重要な役割を果たしていたことを明確に確認させている
- 安全探求方法論としてのレジリエンスエンジニアリングと, **安全概念Safety-IIの有用性**はこれらの事例分析を通じて事後的(a posteriori)にはあるが確認された
- これら4能力と補完的要件の向上が, (未然防止に加えて) **影響緩和の成功**につながる
- なお, レジリエンスの発揮は事故進展の様々な段階で可能:「事故のはじまり=大事故」ではない

事例調査のあり方に関する示唆

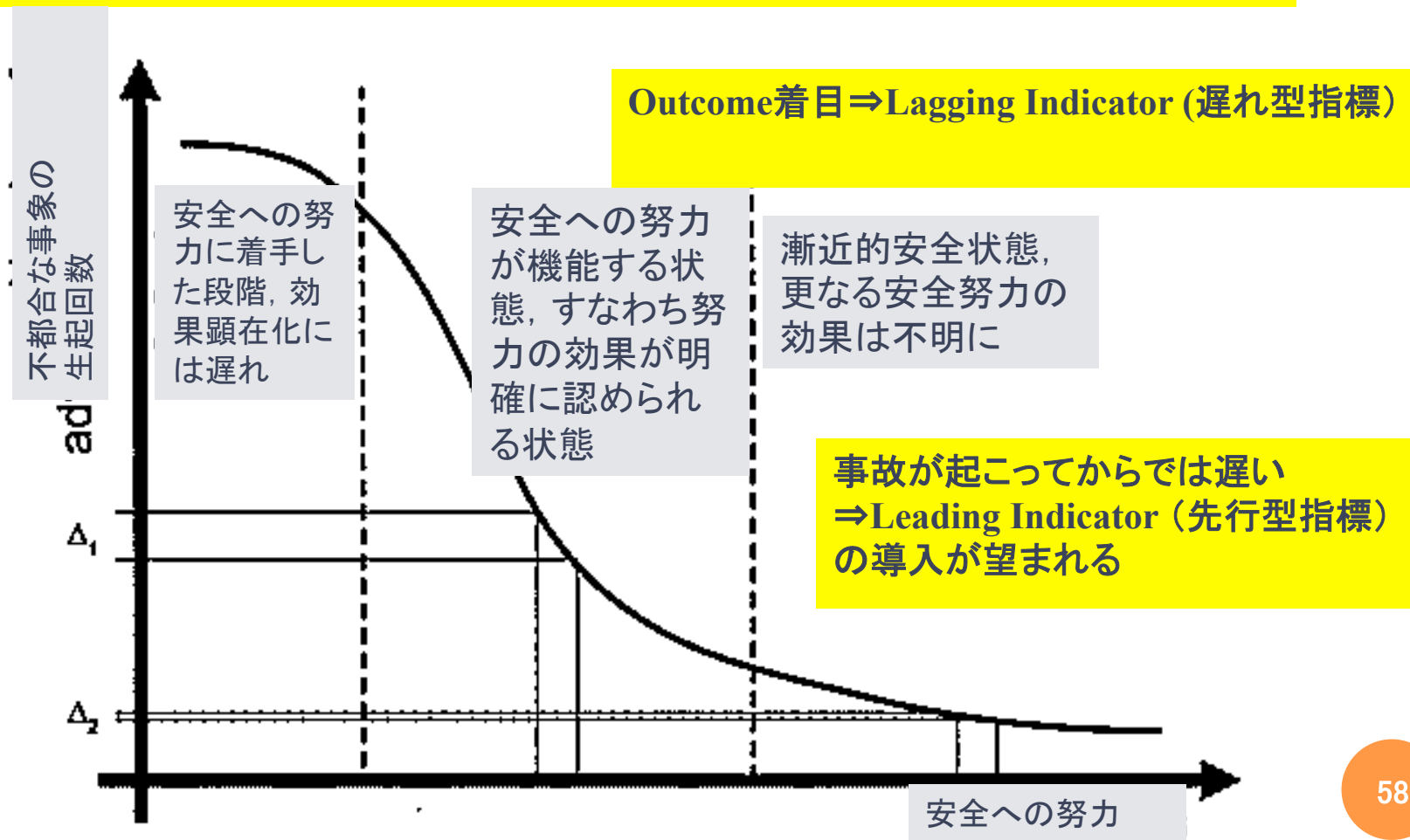
- 東電福島第一発電所(1F)5/6号の事例：事故調査のあり方に関する重要な知見を与えている
- 1Fでの事故対処過程では5/6号の事例以外にも「うまいったこと」は確認されている
 - ◆ 1号機での炉心への注水ライン早期確保、
 - ◆ 消防車を活用した原子炉への注水、
 - ◆ 自家用車やバスのバッテリーを取り外しての計装情報読み取り、
 - ◆ 仮設の海水ポンプを活用した5/6号機の冷温停止など
- これらGood Practiceからの教訓導出とその共有を積極的に進めるべき：Find and fixだけでは不可

現場適用の工夫と留意点

組織レジリエンスの体系的評価法

- RAG (Resilience Analysis Grid)方式の提案
- レジリエンスを高めるためには、レジリエンスの評価手段が望ましい。
- 直感的には、REが主張する主要4能力がどの程度のレベルにあるかを調査・評価すればよい。
- RAGの導入策
 - 4能力それぞれを評価する質問紙調査方式
 - ただし、単純な導入ではなく、適合化、段階的実装などの工夫が必要。
 - 導入分野ごとに、どのような質問集合が適切か、考える作業は、RE専門家と現場専門家の協働で

対象組織の安全レベルがある程度高いレベルに到達している場合、不適合事象の生起回数やヒヤリハット事例の報告数に代表される、期間ごとの結果量 (OUTCOME)を指標にする方式は不適:



目的と評価の指針

- 現段階での既知方策：
 - ◆ レジリエンスエンジニアリングが重視する4機能すなわち予見 (anticipate), モニター (monitor), 対応 (respond), 学習 (learn) に着目した **Resilience Analysis Grid (RAG)** という質問紙調査方式 (Hollnagel 提案) とその集約
 - ◆ ただし具体的な組織への応用には適合化が必要
- 本研究では電力事業者の特定部門を対象として RAG 評価の適合化を試験的に実施。その際には、事業の特性を反映した 適合化 を導入している。
- 質問回答者の負担軽減、マネジメント層の受容促進を目指した、段階的実装法 についても検討。
- この試行経験を踏まえて、実効性の高い RAG 評価方式を導出することが研究の目的。

予見能力評価用質問リスト(原型)

- Q1:未来を予見する知識はどこから得ているか？
 - ◆ 社内検討のみか, アウトソーシング含むか？
- Q2:将来の脅威に関する評価の頻度は？
 - ◆ 定期的実施か, 不定期的か？
- Q3:予見された事象の伝達と組織内共有策は？
- Q4:組織は未来についてのモデルを有しているか？
 - ◆ モデルは明示的か暗黙か? 「常識」レベルか？
- Q5:予見はどの程度の時間スパンについて実施？
- Q6:リスク受容／回避の(定量的)判断基準は？
- Q7:未来の脅威の性質は何か？
 - ◆ どんな脅威があってそれがどのように進展？
- Q8:組織文化の中でのリスク認識程度は？

予見能力評価用質問リスト(適合化)

- Q1:未来を予見する知識はどこから得ているか？
 - ◆ 社内検討のみか, アウトソーシング含むか？
 - ◆ 社内検討に加え, 他社情報や海外情報も利用している？
- Q2:将来の脅威に関する評価の頻度は？
 - ◆ 定期的実施か, 不定期的か？
- Q3:予見された事象の伝達と組織内共有策は？
- Q4:組織は未来についてのモデルを有しているか？
 - ◆ モデルは明示的か暗黙か? 「常識」レベルか？
 - ◆ 未来を予見し計画するための基準・指針はあるか？

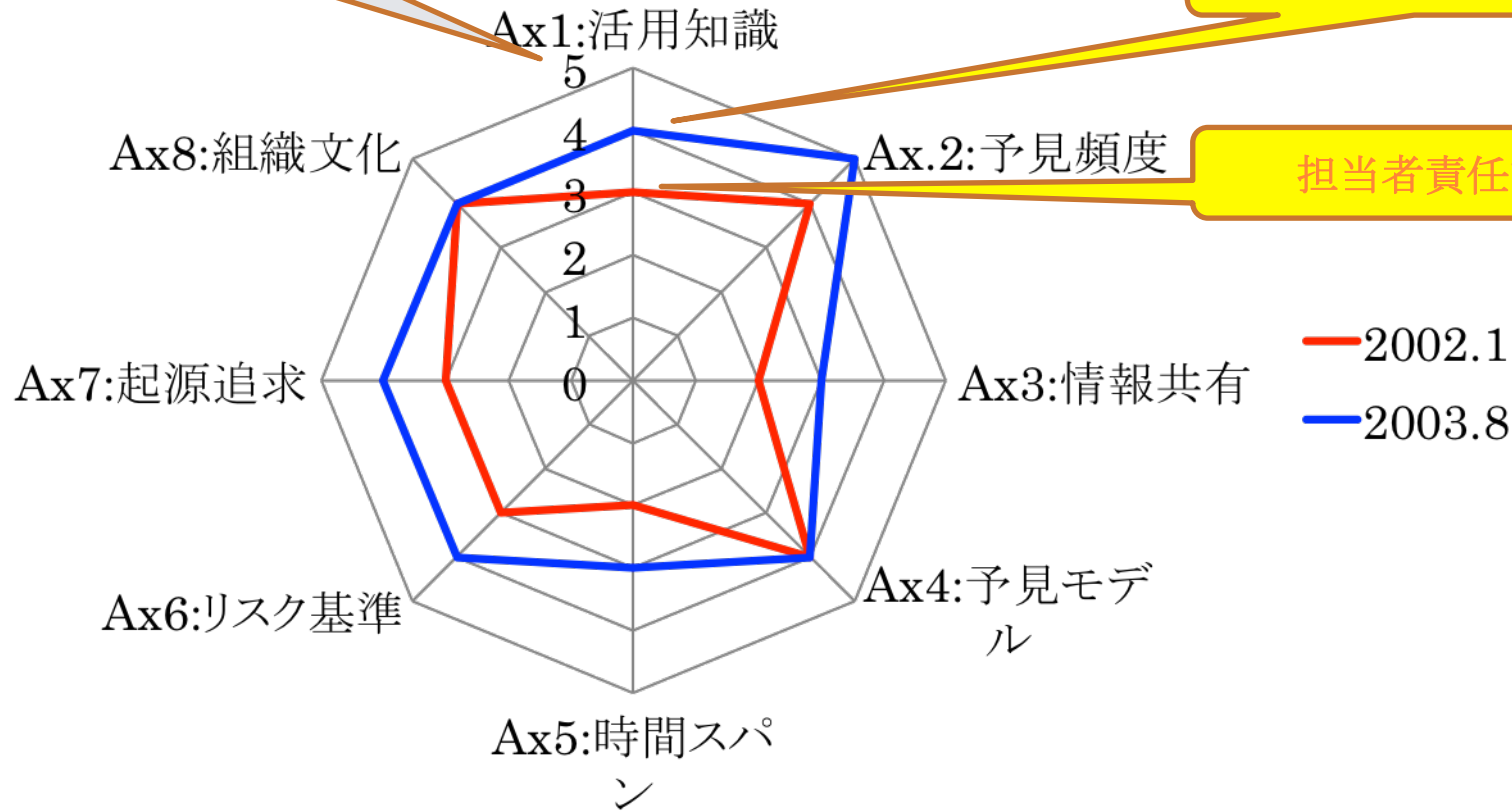
組織レジリエンスの状態遷移(予見機能)

組織全体?
支援ツール?

予見知識の生成はどこで?

担当部門責任で予見

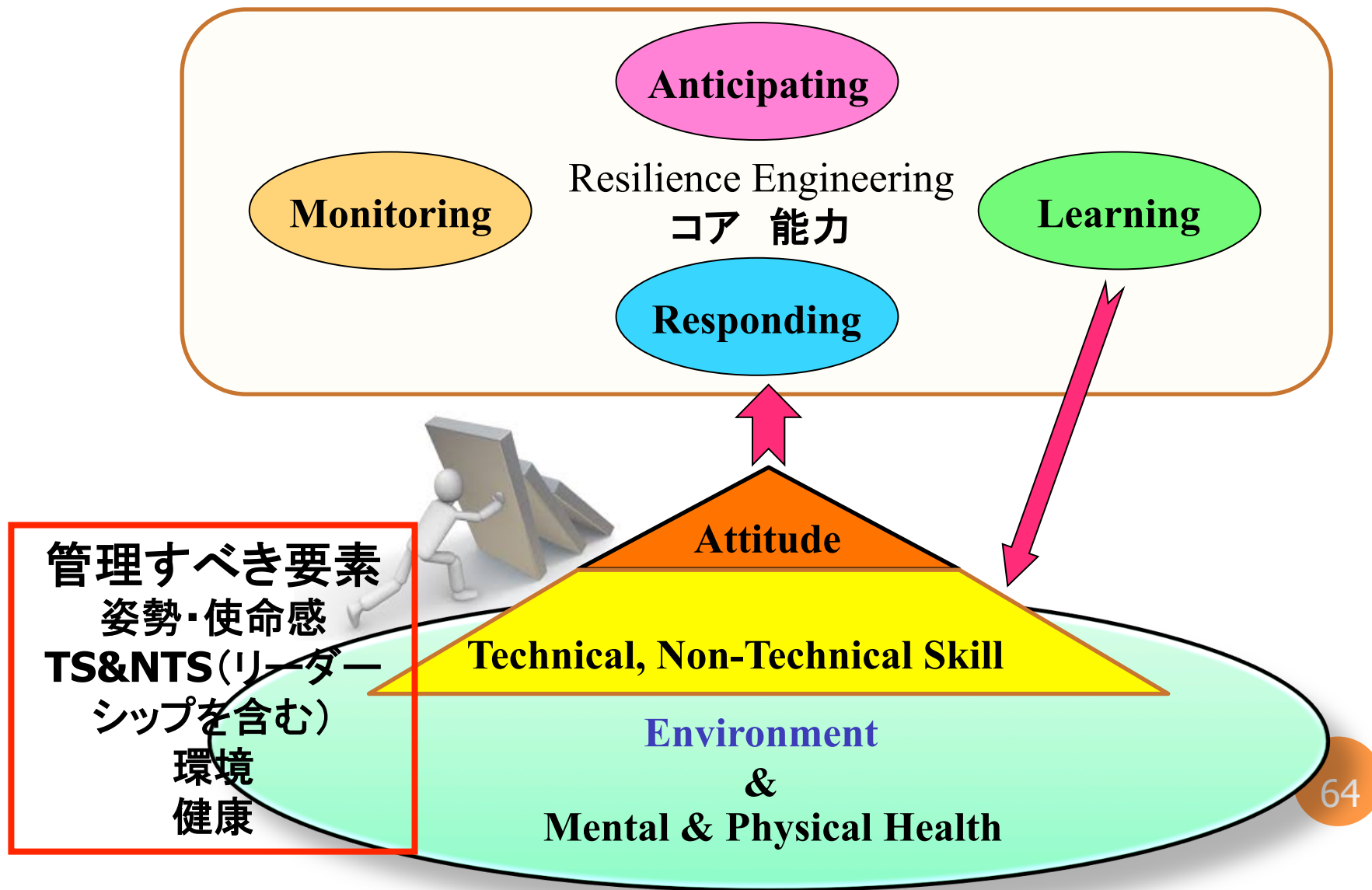
担当者責任で予見



全体論的安全

- 先のRE能力と連動して効果的に安全を実現する方策
- 小松原(早大)は管理すべき要素として次を提案
 - “Resilience Management System and Development of Resilience Capability on Site Workers”, Proceedings of the fourth Resilience Engineering Symposium 2011, pp. 148-154
- Technical skill: 変動に対処しミッションを遂行するための技術的なスキル、技術的知識
- Non-technical skill: situation awareness, decision-making, communication, team work, **leadership**, stress/fatigue management
- Attitude: 変動に前向きに挑む態度。責任感、使命感。
- Mental and physical health: レジリエンス能力の基礎
- 1Fの経験から、上記にリソースを含めたEnvironment(作業環境)を付加する必要性を認識(吉澤他 2014,2015)
 - 水、食料、トイレ、睡眠環境、明り、機材、通信、放射線防護 など

REの主要4能力と管理すべき要素の関係



新しい安全探求策が望まれる背景

- 社会技術システム高度化, 複雑化, 可視性の低下
 - ◆ 加えて, ある程度高い安全性が従来型の方策で実現されているが, その効果は飽和に近いこと(以上は既出)
- 不確実性(uncertainty)の増大
 - ◆ 社会技術システムから社会技術的生息環境へ
 - ◆ グローバル化の影響
 - ◆ 複雑・大規模化, Black Box 化⇒不確実性の増大
 - ◆ To feel uncertain ⇒ To feel unsafe
- 変化の速度大⇒不確実性の増大へ
- 従来型安全方策の限界

6. おわりに

- ❑ 社会技術システムに関する技術革新＝安全探求の方法論を置き去りにして進行中
- ❑ Safety-Ⅱ 概念とレジリエンスエンジニアリング方法論はもっと広い範囲で受け入れられてよい
- ❑ ただし、多くの産業現場や研究場、医療場では、ヒューマンファクターや安全風土に関する理解の不足、作業環境の不適切性、現場実務者の不安全行動などに起因する従来型の事故やトラブルが依然として起こっていることも事実
- ❑ Safety-Ⅰ ベースの安全とSafety-Ⅱ ベースの安全の両面からの安全探求が進められるべき