

Resilience Engineering 概論

有人宇宙システム株式会社
先端技術研究センター 副主任研究員

京都大学大学院 法学研究科附属
法政策共同研究センター 特定講師

広瀬 貴之

Resilience Engineering 概論

Resilience
回復力？復元力？
それとも・・・？

FRAM
複雑な社会・技術システムの
モデル化

Safety-II
Resilient であるためには
安全と継続的に向き合う機会
(フィードバック) が必須

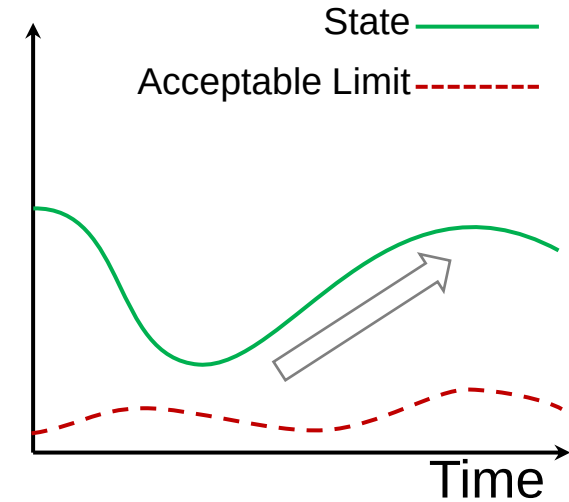
FRAM分析事例
「成功要因分析」の
事例集
(※ 時間の許す限り)

Resilience : 基本的な意味

✓ まずは辞書で引いてみると・・・

1. The ability to become recovered, happy, or prosperous again after a difficult situation or event
2. The ability of a substance such as rubber to return to its **original shape** after it has been deformed or bent

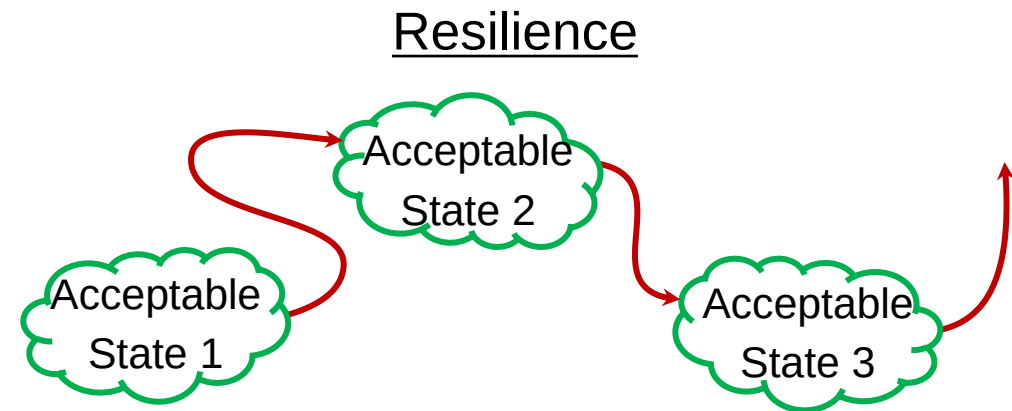
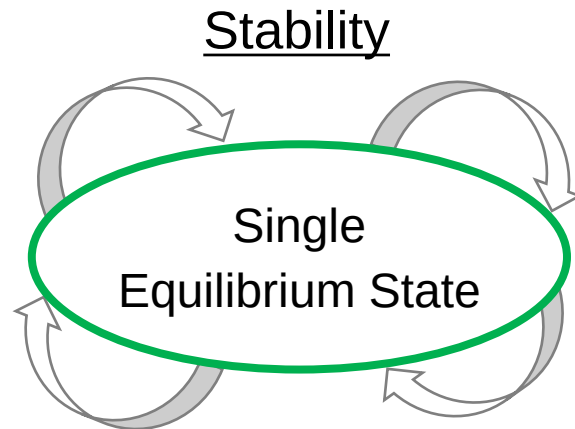
(Longman Dictionary of Contemporary English)



生態系のレジリエンス (Holling, 1973; Carpenter et al, 2001)

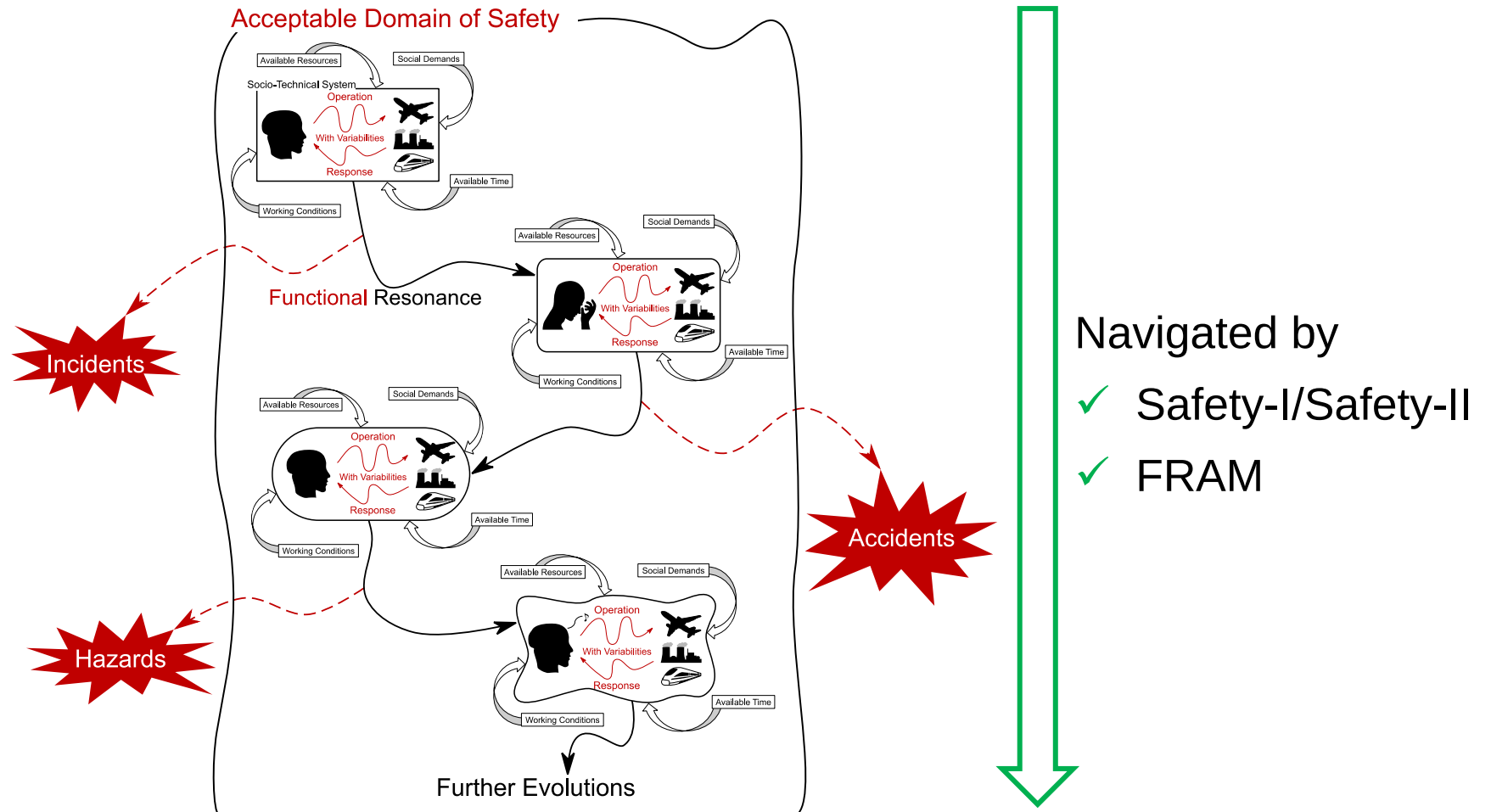
◆ 生態系をStabilityとResilienceという2つの観点から議論

- Stability: 環境変動の影響を受けたのち、元の安定点に戻る能力
- Resilience: 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、「次の状態」に向かって生き延びていく能力



Resilience in Resilience Engineering

- ◆ 回復というより、**自身や周囲のゆらぎ**、またその相互作用を利用した**前進・進化**
 - 逆境の発生する前の状態に戻りたい（回復したい）わけではない（e.g., 災害復興, コロナ禍 etc...）
 - **目指すべきは、逆境を克服し、人や組織、システムとして更に強く進化していくこと**

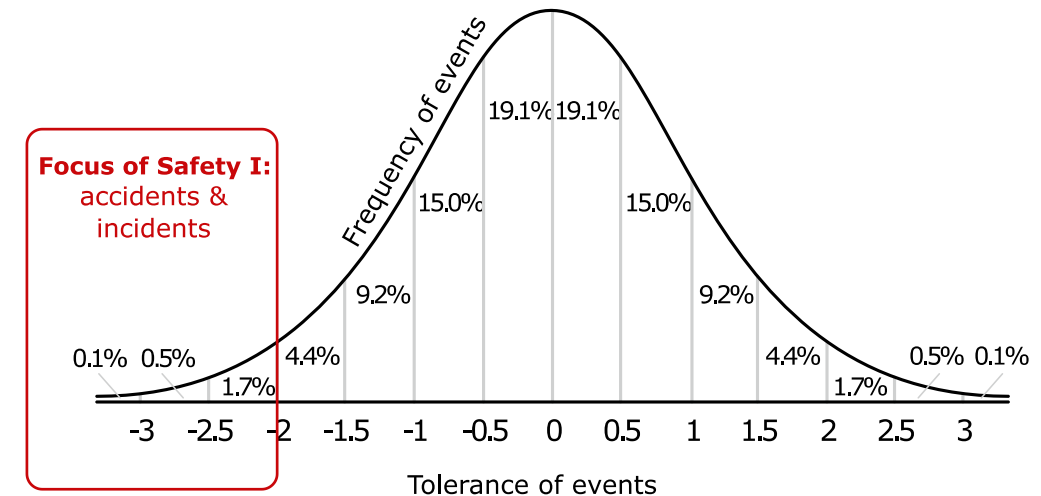


- ◆ “Safety” を辞書で引くと : **NOT** in danger or **NOT** harmful
 - 「安全である」ことは「危険でない」ことによって示される
 - ✓ 多くの安全対策：この定義に基づいている（ように見える）
 - ✓ しかし何だか逆説的では？
 - ✓ 「安全」は「安全」として認識できないのか？



Safety-I

- ◆ 物事の**失敗要因**の特定・**排除**により安全を確保
 - 極めることで“危険のない安全な世界”を実現



Q: その“安全な世界”、この先も続く保証はありますか？

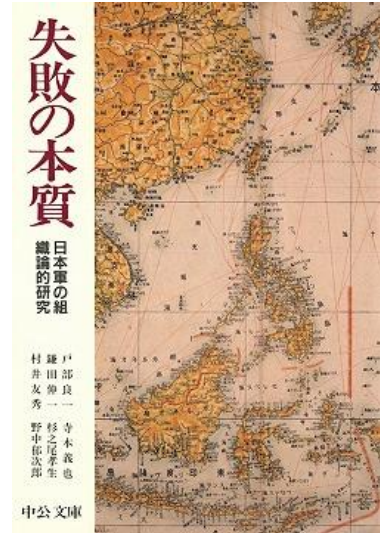
- ✓ 人々が「安全」と向き合うのは一般に「何かが起きた後」
 - Safety-I における「何か」：事故・インシデント・ヒヤリハット etc...
 - Safety-I のみを極めるだけでは、安全と向き合う機会（フィードバック）を逆説的に喪失 (Cf. Regulator Paradox)

歴史に見る「フィードバックの喪失と破滅」

前章で、日本軍の失敗の原因が六つのケースを通じて析出された。そこでは、日本軍の戦略、資源、組織がその作戦環境の産み出す機会や脅威に、いかに適合していなかったかが示された。これらの失敗の原因を繋ぎ合わせて、その最も本質的な点を突き詰めていくと、**まことに逆説的であるが、「日本軍は環境に適応しすぎて失敗した」、と言えるのではないか。**

(中略)

進化論では次のようなことが指摘されている。恐竜がなぜ絶滅したかの説明の一つに、恐竜はア中生代のマツ、スギ、ソテツなどの裸子植物を食べるために**機能的にも形態的にも徹底的に適応したが、適応しすぎて特殊化し、ちょっとした気候、水陸の分布、食物の変化に再適応できなかった、というのがある。**つまり、「**適応は適応能力を締め出す (adaptation precludes adaptability)**」とするのである。日本軍にも、同じようなことが起こったのではないか。このことを、我々の分析枠組みに基づいて明らかにしていこう。



<https://www.chuko.co.jp/bunko/1991/08/201833.html>



<https://www.kadokawa.co.jp/product/201104000498/>

もしもこのように災難の不変性恒久性が事実であり天然の方則であるとする、吾々は「災難の進化論的意義」と云ったような問題に行き当たらないわけには行かなくなる。平たく言えば吾々人間はこうした災難に養いはぐまれて育ってきたものであって、ちょうど野菜や鳥獣魚肉を食って育って来たと同じように災難を食って生き残って来た種族であって、野菜や肉類が無くなれば死滅しなければならないように、**災難が無くなったらたちまち「災難飢餓」のために死滅すべき運命に置かれているのではないか**という変わった心配も起こし得られるのではないか。

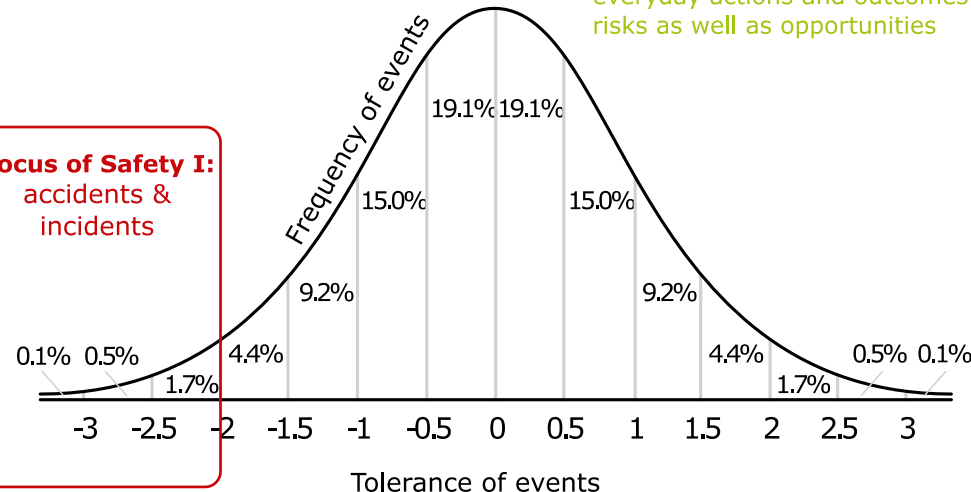
Safety-II

◆ 物事の**成功要因**も理解・**活用**することで安全を強化

- 常に外部環境の変化へアンテナを張り
変化に対し自身を適応

<https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2437.pdf>

Focus of Safety I:
accidents & incidents



Focus of Safety-II:

everyday actions and outcomes-
risks as well as opportunities

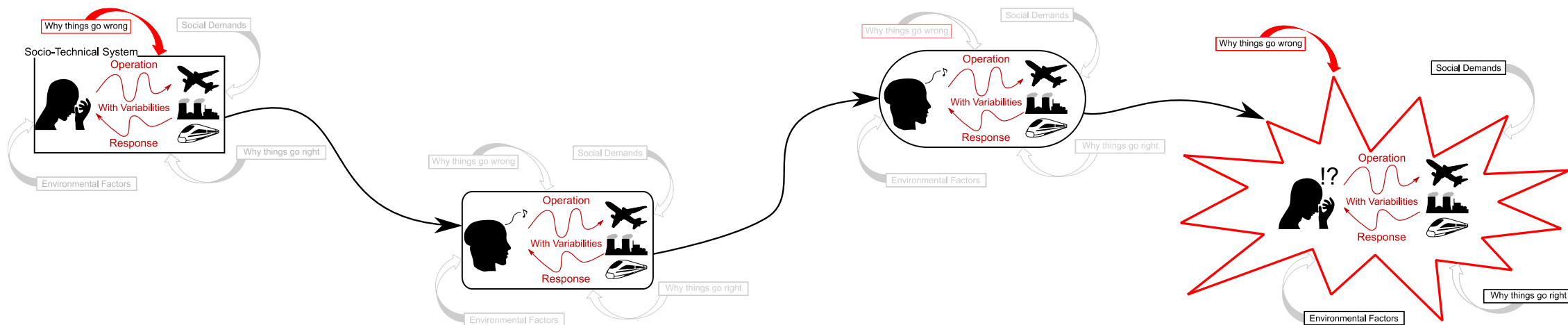
✓ **Safety-II : 「褒めて伸ばす」的なアプローチや過剰な現場主義*の肯定にあらず**

1. 安全と向き合うための機会（フィードバック）を絶やすことなく,
2. 自身や組織, システムを常に「ゆらいだ」状態にすることで,
3. **周囲の状況の変化に能動的かつ機敏に適応し, 強く進化し続けるための考え方**

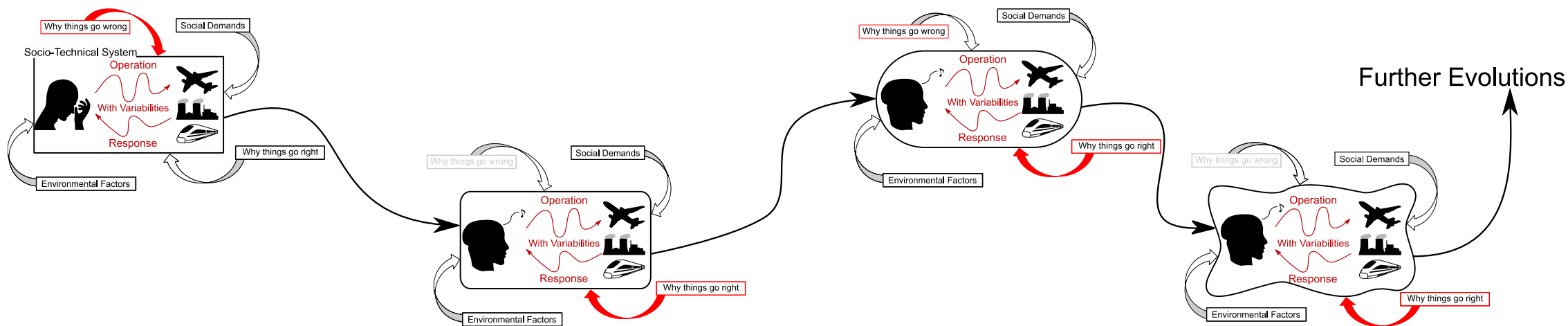
*過剰な現場主義：現状を乗り切るためであれば、いかなる例外的対応やルールからの逸脱も許されるという考え

Safety-IIに基づくレジリエントなシステム

Safety-Iのみに基づく「状況特化型」システム



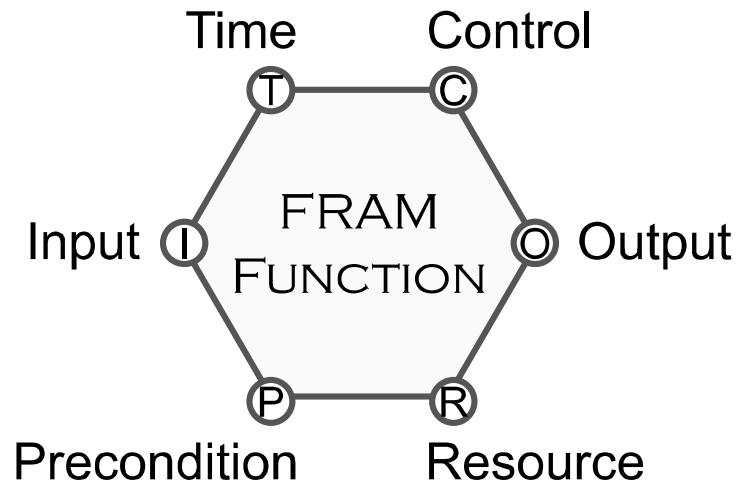
Safety-IIに基づく「状況適応型」(≡レジリエントな) システム



Functional Resonance Analysis Method (FRAM)

- ◆ 人・物・事の交わりの下で進行するタスクや行程を1つのシステムと捉えモデル化するための方法論
 - モデルの構成要素：6属性を持つ機能

Erik Hollnagel (2004, 2012)

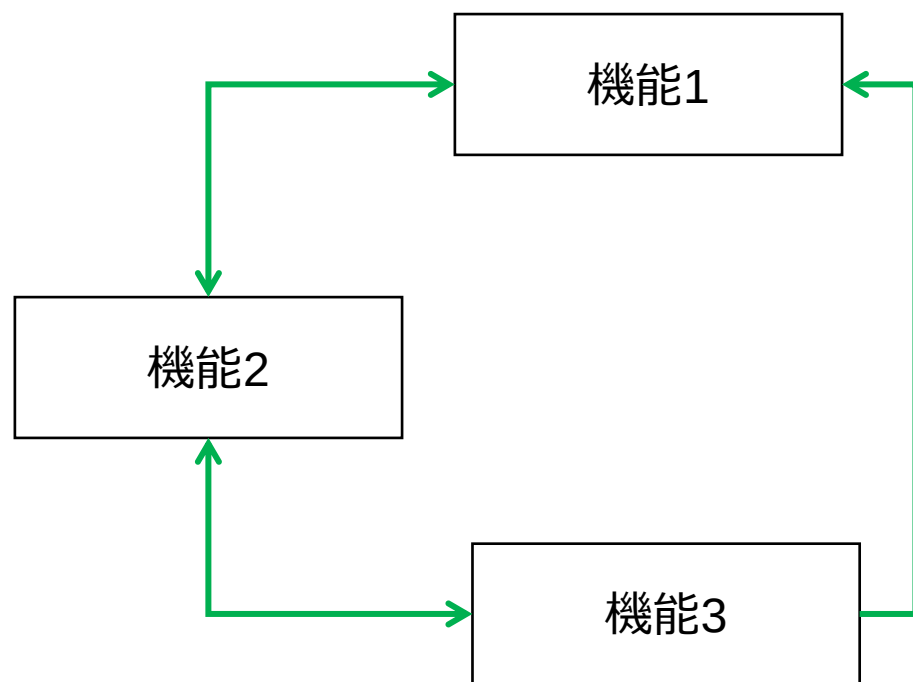


属性	定義
Input	機能への入力/トリガー
Output	機能の出力/実行結果
Precondition	機能が実行される前に満たされているべき前提条件
Resource	機能実行時に利用・消費されるもの (e.g., 燃料・お金・情報 etc...)
Control	機能実行を制約するもの (e.g., 手順書・指示・状況 etc...)
Time	機能実行に係る時間条件 (e.g., 所要時間・制限時間・タイミング etc...)

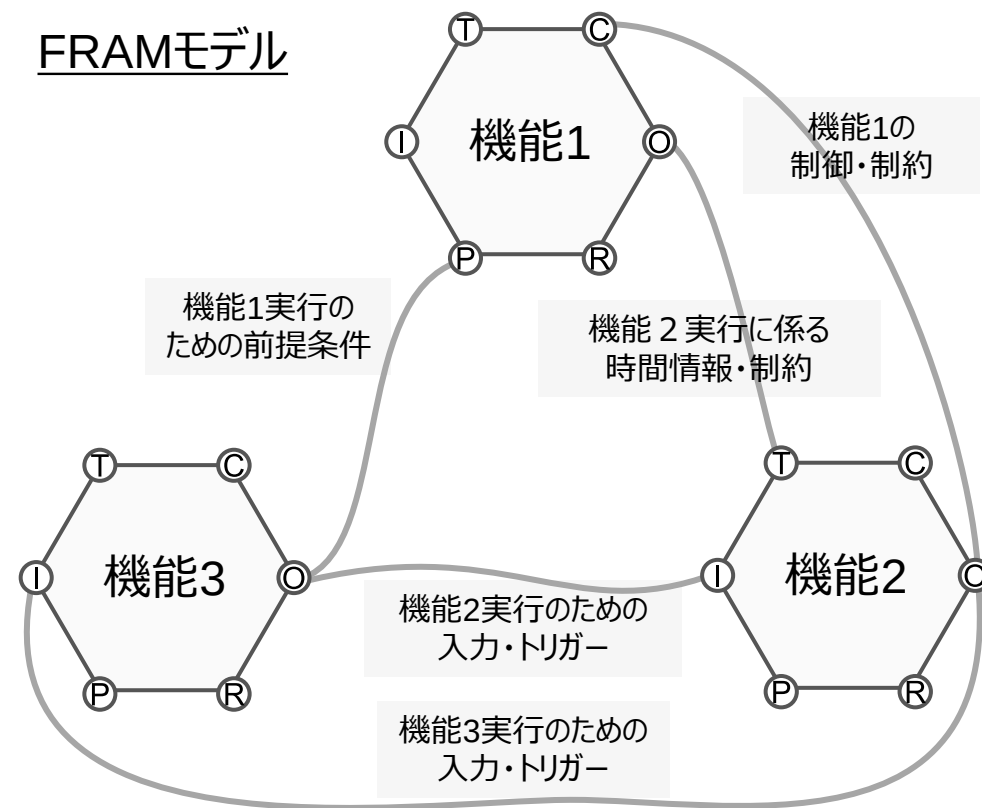
Functional Resonance Analysis Method (FRAM)

- ◆ 人・物・事の交わりの下で進行するタスクや行程を1つのシステムと捉えモデル化するための方法論
 - モデルの構成要素：6属性を持つ機能
 - FRAMによるモデル：6属性を介した機能同士の依存関係を表したもの

よくある「機能モデル」



FRAMモデル



Erik Hollnagel (2004, 2012)

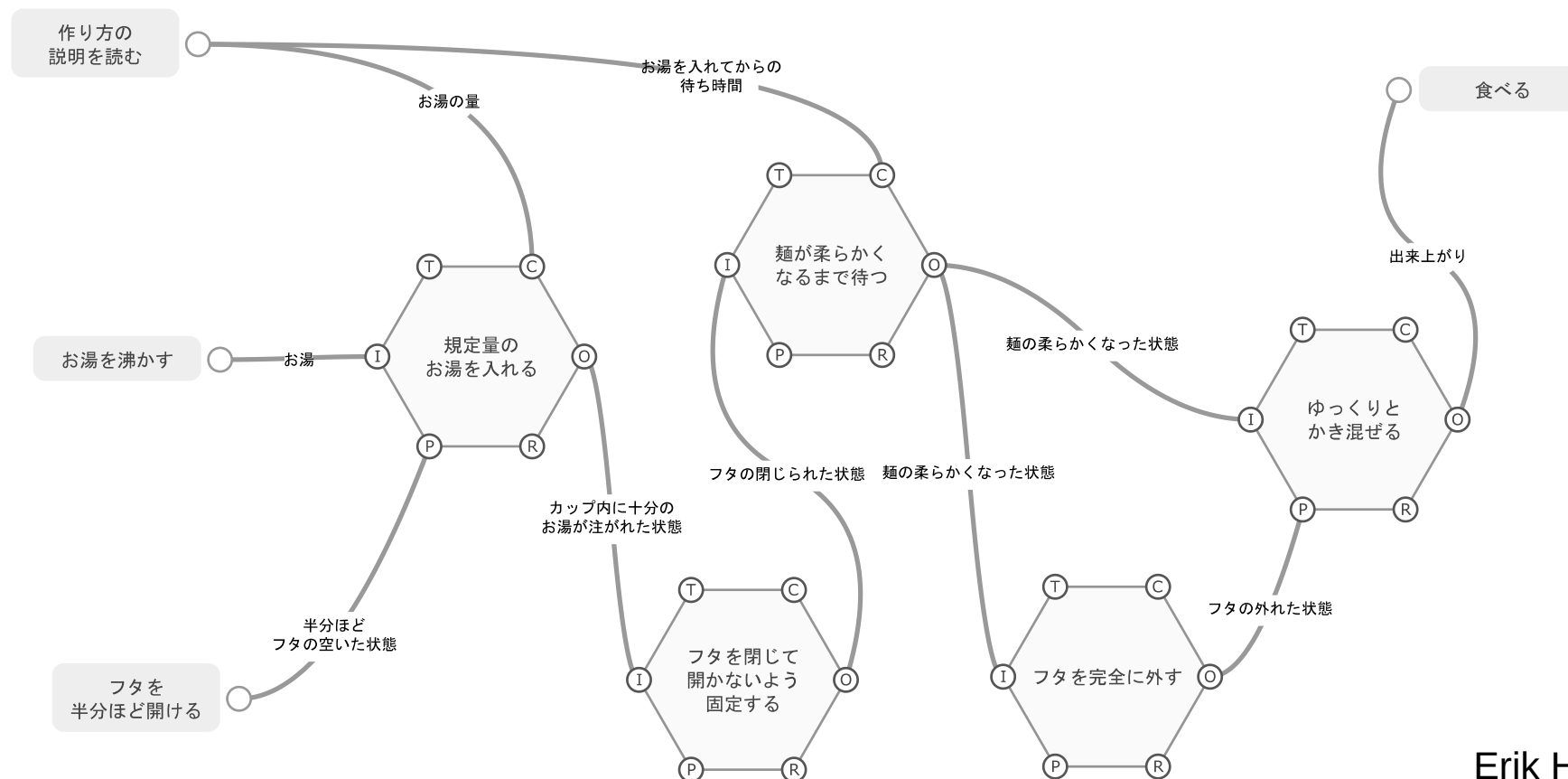
Functional Resonance Analysis Method (FRAM)

◆ 人・物・事の交わりの下で進行するタスクや行程を1つのシステムと捉えモデル化するための方法論

➤ モデルの構成要素：6属性を持つ機能

➤ FRAMによるモデル：6属性を介した機能同士の依存関係を表したもの

チュートリアルでおなじみの例題：カップヌードルの作り方

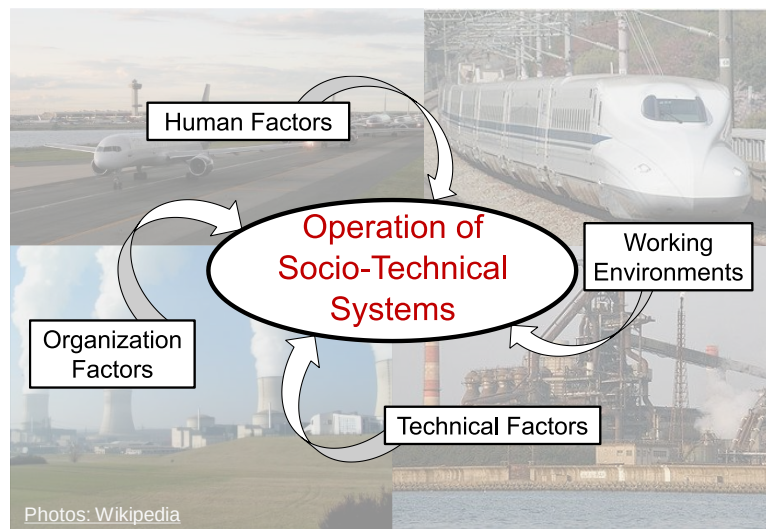


Erik Hollnagel (2004, 2012)

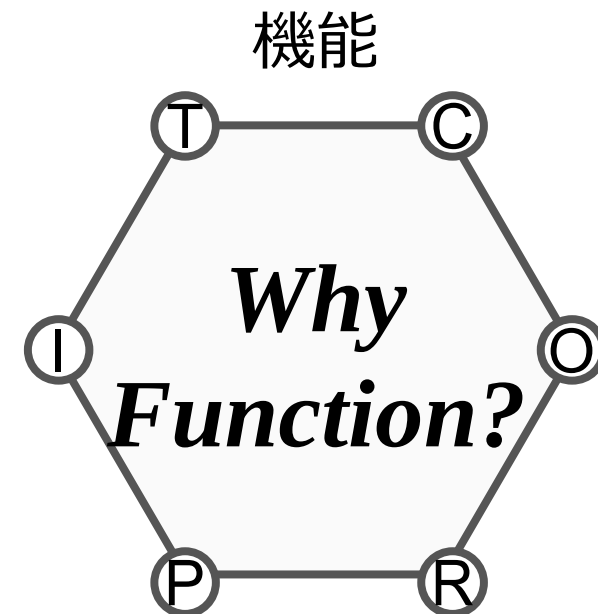
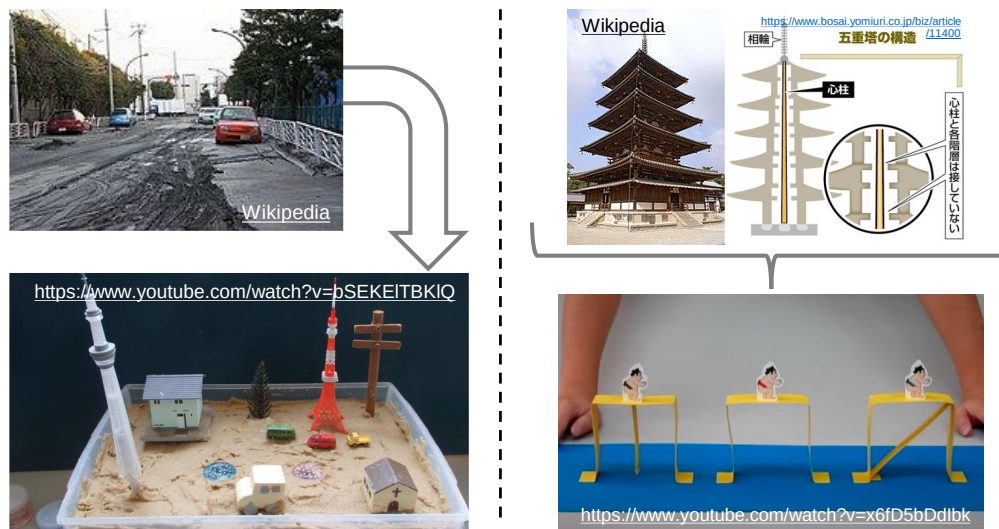
FRAMを理解するためのポイント

✓ 分かったようで分からない用語たち

人・物・事の交わるシステム



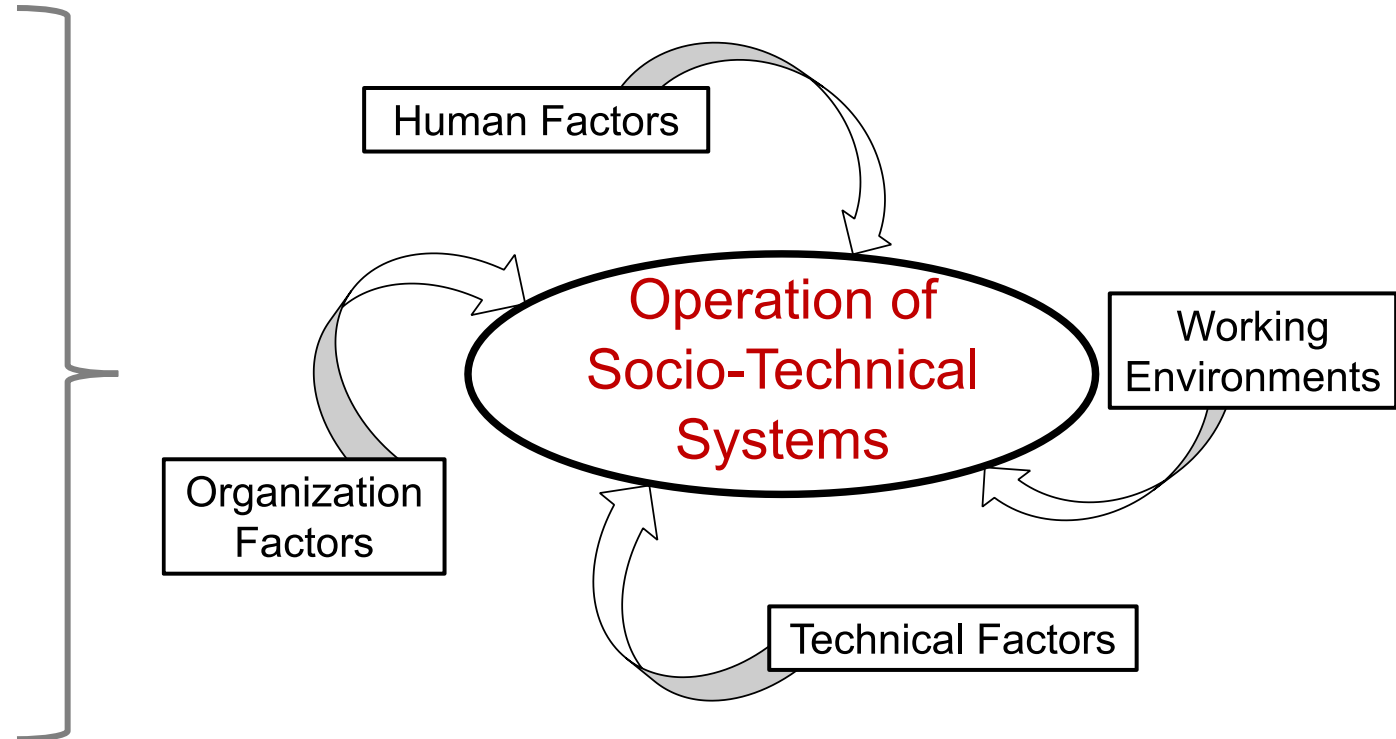
モデル化

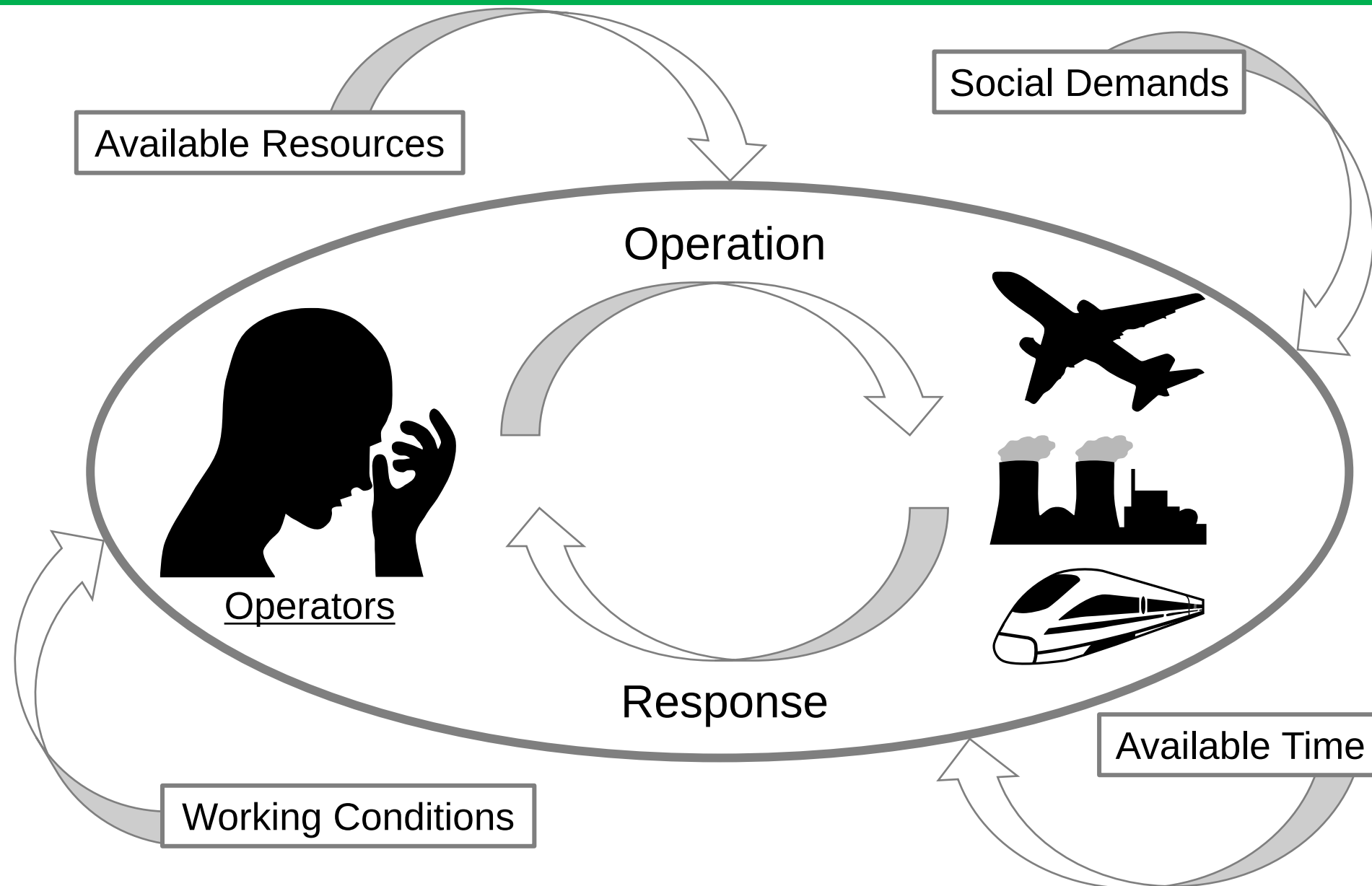


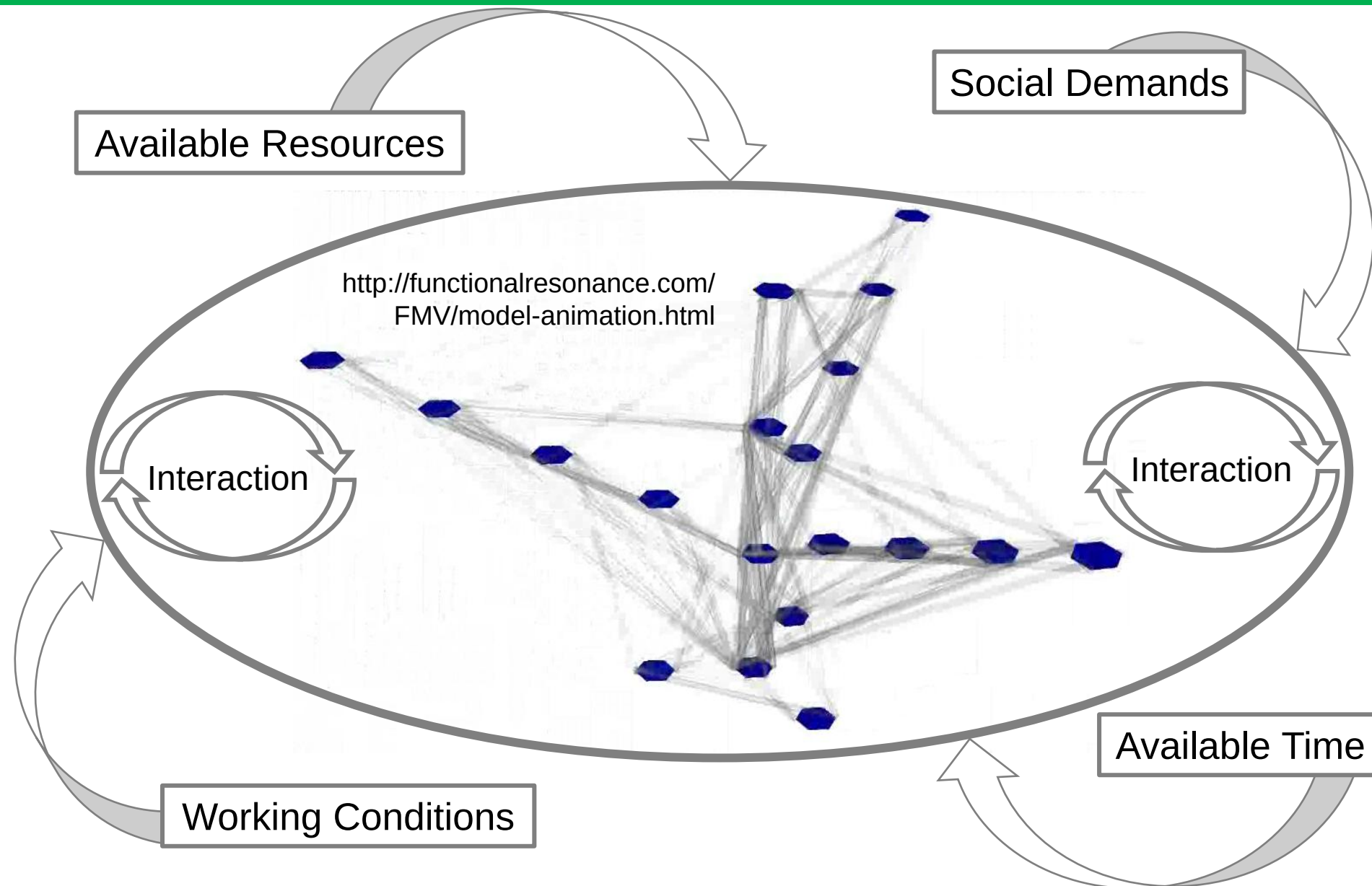
- ◆ 現実世界の物事・事象は我々が思っている以上に**複雑**
 - 自然言語による表現や説明は多くの場合困難であり、その**理解にはモデルが必要**
- ◆ FRAMは人・物・事の交わる社会・技術システムの特徴を**機能モデル**で **Systemic** に**表現**するための手法

社会・技術システムとは

- ◆ 社会・技術システム：人と機械のみならず，それらを取り巻く組織や環境の要因まで一纏めに捉えた系
 - FRAMの発端：社会や技術の発展とともに複雑化するシステムの安全をどのように捉えるか
 - 近年のシステム：人間や機械のみならず、組織や環境の役割/挙動が複合的に関与し機能
 - FRAM：このような系の特徴を**総体的 (Systemic)** に表現・理解するための方法論





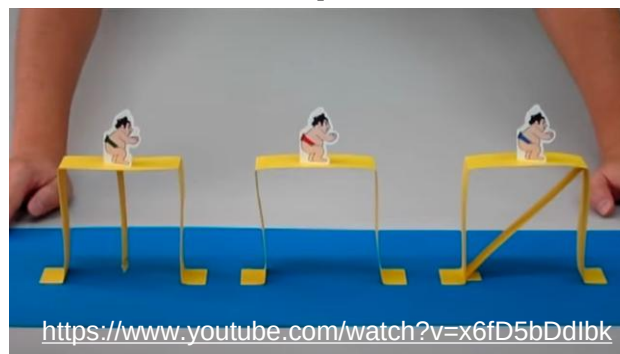
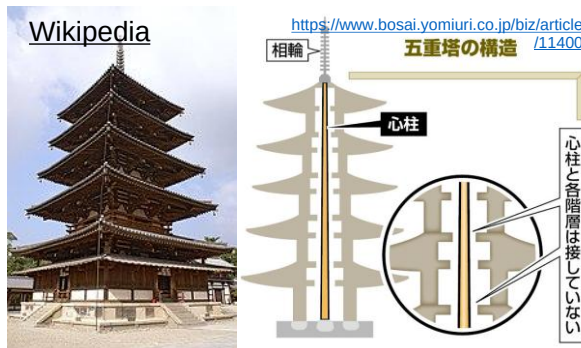


◆ モデル：物事や事象の**特徴を抽出・抽象化し、人々が理解・説明・予測しやすい形で表したもの**

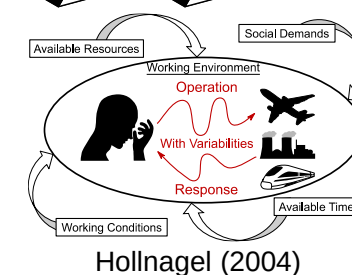
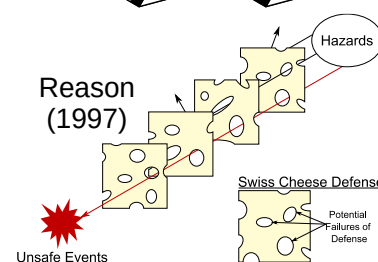
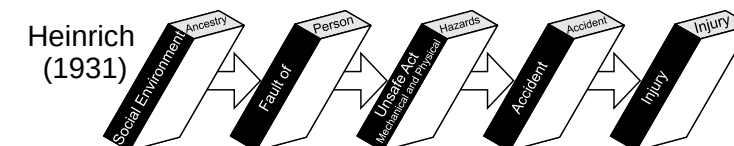
液状化の再現モデル



五重塔の耐震モデル



事故モデル



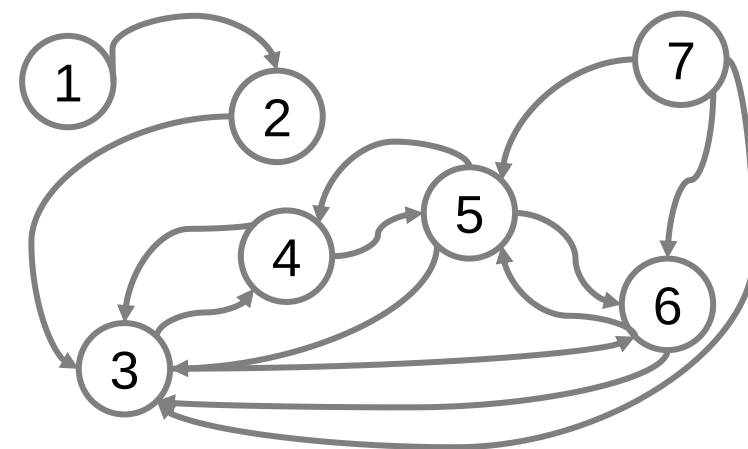
✓ モデルは物理的な物事・事象に関してのみならず

問：自転車の乗り方を分かりやすく説明してください



ID	手順	役割
1	乗車のため車両を固定する	サドルに跨る際、車体が不意に動かないようにするため
2	サドルに跨る	運転の姿勢を取るため
3	ペダルをこぐ	前進し、スピードを制御するため
4	バランスをとる	転倒することなく進み続けるため
5	ハンドルを操作する	進行方向を制御するため
6	ブレーキを操作する	必要に応じて減速・停止するため
7	周囲の状況を確認	衝突や事故を防ぐため

これら手順の依存関係を表そうとすると・・・



◆ 日常の何気ないタスクでさえ複雑・構造やダイナミクスが存在 <<< 社会・技術システムの複雑さ
 ➤ 複雑な対象の理解には適切な方法論によるモデルの構築・理解が不可欠

- ◆ 機能の名前は一般に「～すること」(To do ~) と定義
 - その主体にヒト・モノ・コトの区別はなく、社会・技術システムのこのコンセプトと相性◎
- ◆ 人工物のデザインにおいて、「機能」と対になる言葉は「構造」
 - 人工物の機能は有限
 - 機能から具現化 (Instantiate) される構造は無限 (膨大)

椅子に必要な機能



座る人を支えること

Instantiation



構造



Wikipedia

FRAM分析例

◆ 熟練船長・航海士の成功要因分析

https://functionalresonance.com/wp-content/uploads/2024/08/2_2_2_Functional-Analysis-of-Safe-Ship-Operations-Envisioning-Success-Factors-of-Great-Captains.pdf

◆ FRAMシミュレータの構築と鉄鋼生産ラインのゆらぎ分析

<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104556>

◆ FRAMシミュレータのアップデートと薬局での調剤業務のゆらぎ分析

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.075>

◆ FRAMシミュレータを用いたレベル3自動運転の権限移譲問題に関する分析

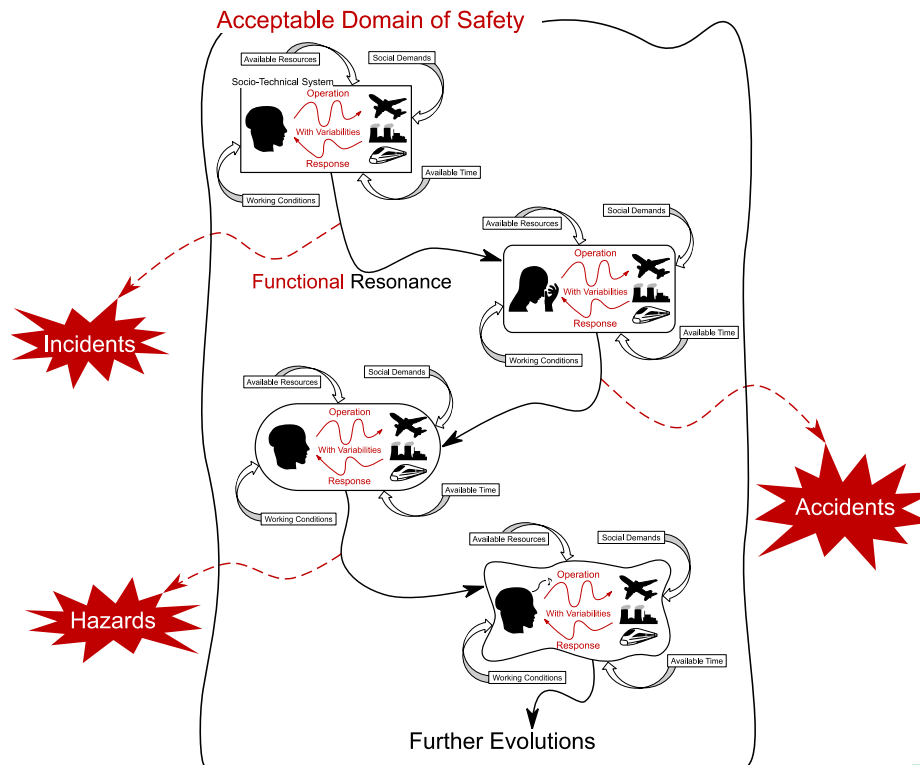
<https://doi.org/10.1007/s10111-020-00652-x>

◆ FRAMシミュレータを用いたレジリエンスと系の多様性に関するケーススタディ

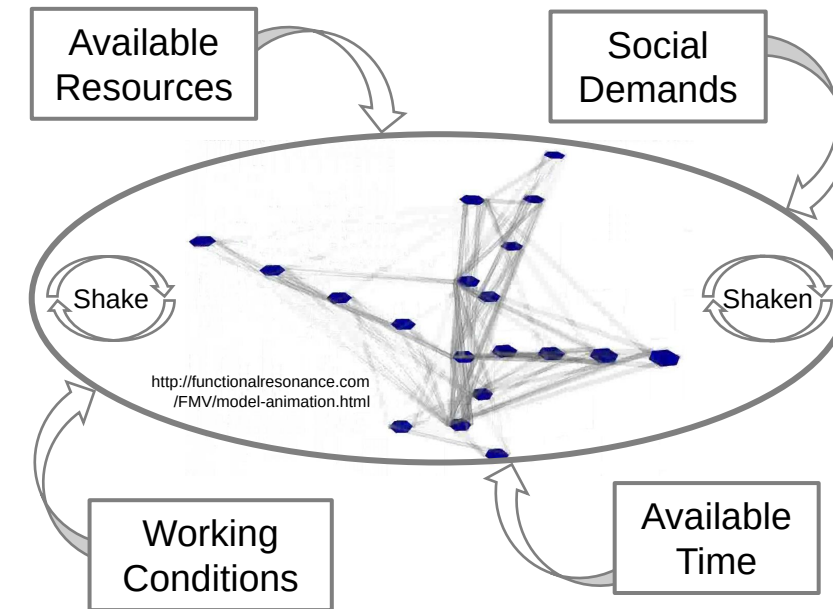
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.231>

Resilience Engineering

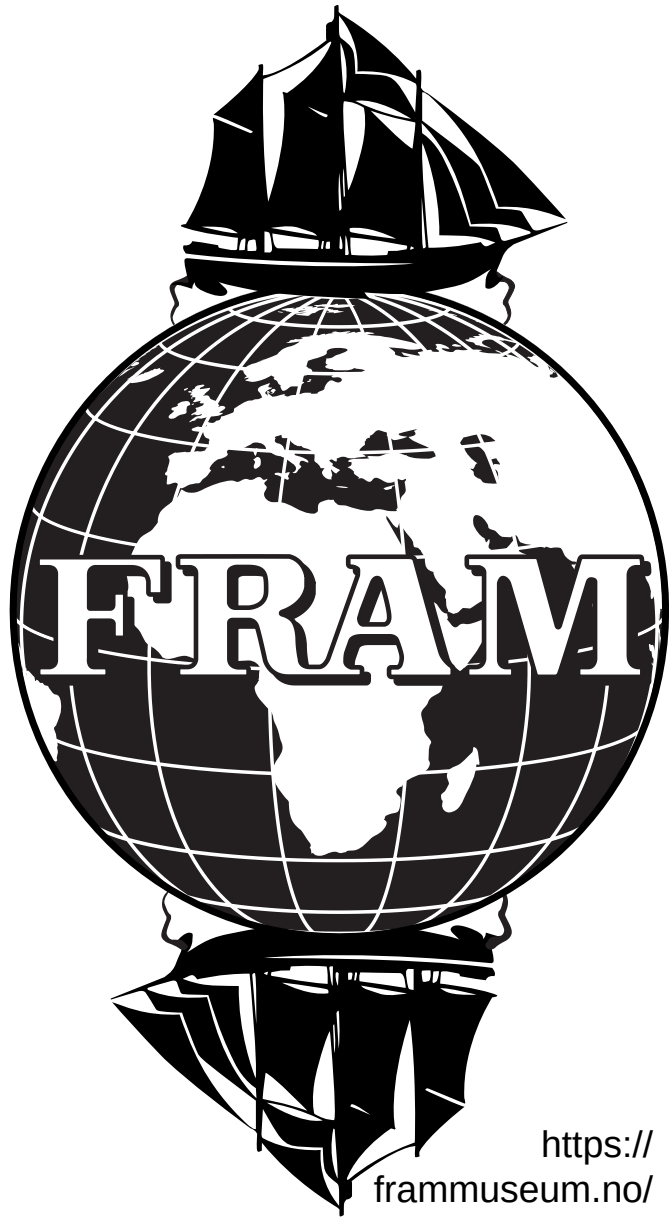
- ◆ 社会・技術システムは人間・技術・環境の複雑な依存関係の中で変化
 - その変化を適切に導くには、人や組織など行動主体への継続的なフィードバックが不可欠
 - Safety-II：安全に向き合う機会（フィードバック）を絶やさず、自身や組織を変化に備えさせるための視点
 - FRAM：社会・技術システムの変化を Envision するための方法論



Envisioning



Hirose and Sawaragi (2019)
IFAC-PapersOnLine Volume 52, Issue 19, 2019, Pages 13-18.



[https://
framuseum.no/](https://framuseum.no/)

Make It **Forward** with **FRAM**



[https://en.wikipedia.org/wiki/Fram_\(ship\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Fram_(ship))



Thank you for your attention!
Contact: hirose.takayuki@jamss.co.jp