

第3回 STAMPワークショップ

UNISYS

電車火災事故を題材にした CASTおよびFRAMの実践と比較

2018年12月3日

日本ユニシス株式会社

総合技術研究所

井上祐司、福島祐子



1 はじめに

2 分析手法の違い

3 分析事例

4 比較とまとめ

1 はじめに

2 分析手法の違い

3 分析事例

4 比較とまとめ

- 昨今では事故は様々なシステムや事象が複雑に関係する状況の中で発生するため、事故の原因や要因の分析は困難になってきている
- 複雑なシステムの事故（事後）分析手法としてCASTがある。また、レジリエンスエンジニアリングの安全の考え方に基づいた分析手法であるFRAMは、事故分析にも使われている。CASTとFRAMは、書籍等で考え方やプロセスが異なることが確認できるが、実際の分析作業や分析結果などで、具体的に何がどのように違うのか明確に把握できていない
- そこで、電車火災事故を例に、各々の分析を実践し、机上で認識した違いの確認や、分析結果の違い、実践することで感じる違いなどについて具体的に確認し、整理する

- 今回題材にした事故事例について
 - 実際に起きた火災事故について、Web等の情報を参考にし、一部については想定で仮置きしたものです

1 はじめに

2 分析手法の違い

3 分析事例

4 比較とまとめ

- CAST (Causal Analysis based on Systems Theory) は、STAMPの考え方に基づいた事後分析手法で、システムの構成要素 (コンポーネント) 間のやりとりにおいて、安全制約に反する誤った情報のやり取りや状態の不一致などを分析し、事故につながる潜在的な要因を抽出する
- 基本的にはSTPAの手順と同じで物理的なコンポーネントから分析する点が特徴

CAST分析プロセス

STEP 1. アクシデント、ハザード、安全制約の特定

STEP 2. コンポーネントの識別

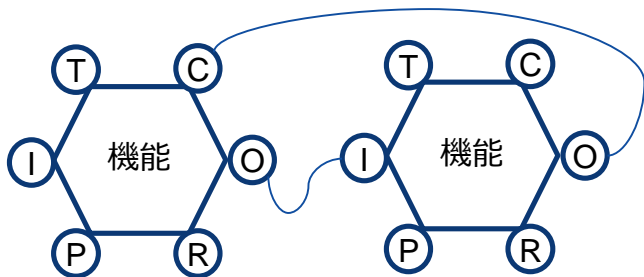
- (1) 物理的なコンポーネントを抽出
- (2) コントロールストラクチャ定義

STEP 3. 事故につながる非安全なコントロールアクション (UCA) を特定

STEP 4. UCAに対する要因 (HCF) を抽出

- (1) メンタルモデルの不備
- (2) 意思決定がされた状況 (コンテキスト) 特定

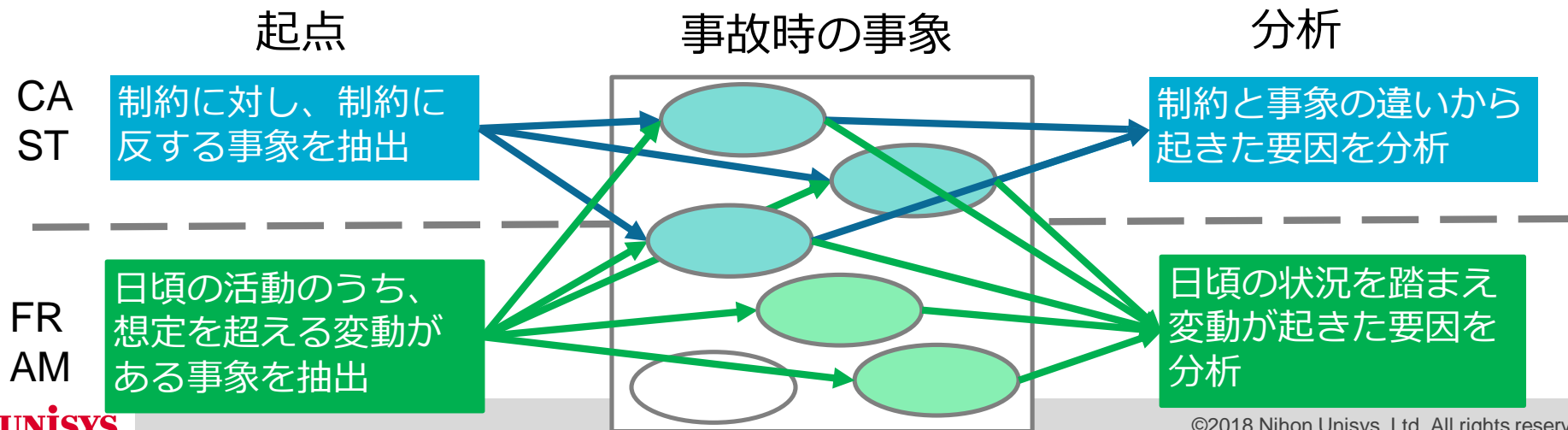
- FRAM (Functional Resonance Analysis Method) は、レジリエンスエンジニアリングの考え方に基づいた分析手法で、事故（事後）分析も可能である
- “現場の日々の仕事”に着目し、機能単位に分け、機能間の関係性を6つの側面（入力(I)、出力(O)、前提条件(P)、制御(C)、資源(R)、時間(T)）で捉え、モデル化する
- 想定される仕事（Work as imagined :WAI）に対し実際の仕事（Work as done : WAD）の違いをギャップとして捉え、ギャップや機能の関係性などから事故の要因を分析する



FRAM分析プロセス

- STEP 1. WAIモデル策定
- STEP 2. WADモデル策定
- STEP 3. WAI・WADのギャップと要因分析

- 既存事象の中から何を拾い上げ、どう分析するか
 - CASTは「制約」を起点に範囲を絞って分析し、FRAMは「日頃の活動」を起点に全体を網羅的に分析する
 - CASTは制約に反する直接的・根本的な要因を抽出しやすく、FRAMは普段と事故時のギャップについて良い悪いにかかわらず分析するため多様な要因を抽出しやすい



1 はじめに

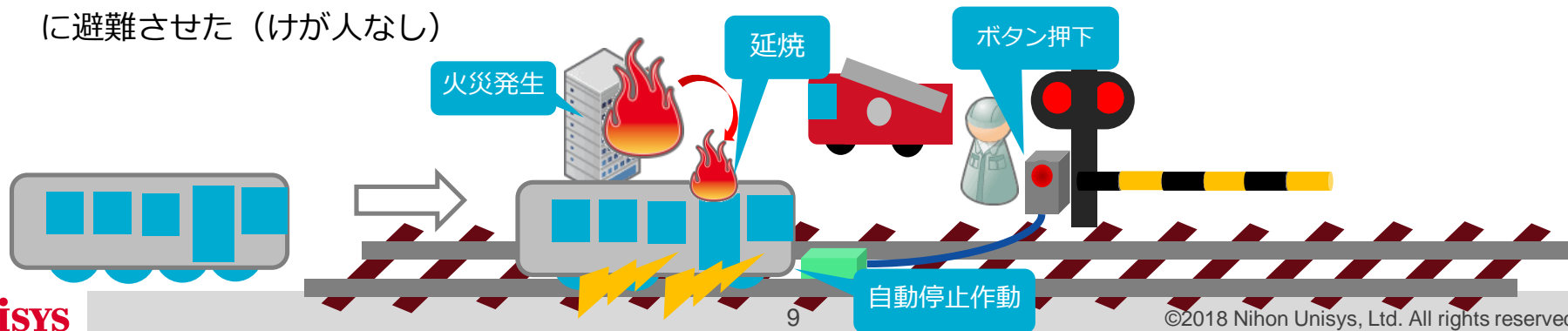
2 分析手法の違い

3 分析事例

4 比較とまとめ

■ 沿線火災が電車に延焼した事故で、消火活動と電車運行が複雑に関係したケース

- ① 沿線の建物で火災が発生
- ② 消防隊は線路から消火するため、電車が火災現場にこないよう踏切にある緊急警報ボタンを押下
- ③ 緊急警報装置で電車は踏切手前で自動停車したが、停車場所が火災現場横で、線路から消火できず
- ④ 運転士は、火災に気付かないまま緊急警報時のオペレーションに従い踏切付近の安全を目視確認した。その後火災に気づき、運行司令部に緊急警報解除を要請したが、この間に火が電車に移った
- ⑤ 運転士は電車火災には気付かず、緊急停止解除後、走行を開始
- ⑥ 消防隊が電車火災に気づき直ちに停車&避難するよう運転士に指示
- ⑦ 運転士は指示に従い電車を直ちに停車したが電車後方が火災現場横に位置づけられたまま、乗客を線路上に避難させた（けが人なし）



- CAST（Causal Analysis based on Systems Theory）は、STAMPの考え方に基づいた事後分析手法で、システムの構成要素（コンポーネント）間のやりとりにおいて、安全制約に反する誤った情報のやり取りや状態の不一致などを分析し、事故につながる潜在的な要因を抽出する
- 基本的にはSTPAの手順と同じで物理的なコンポーネントから分析する点が特徴

CAST分析プロセス

STEP 1．アクシデント、ハザード、安全制約の特定

STEP 2．コンポーネントの識別

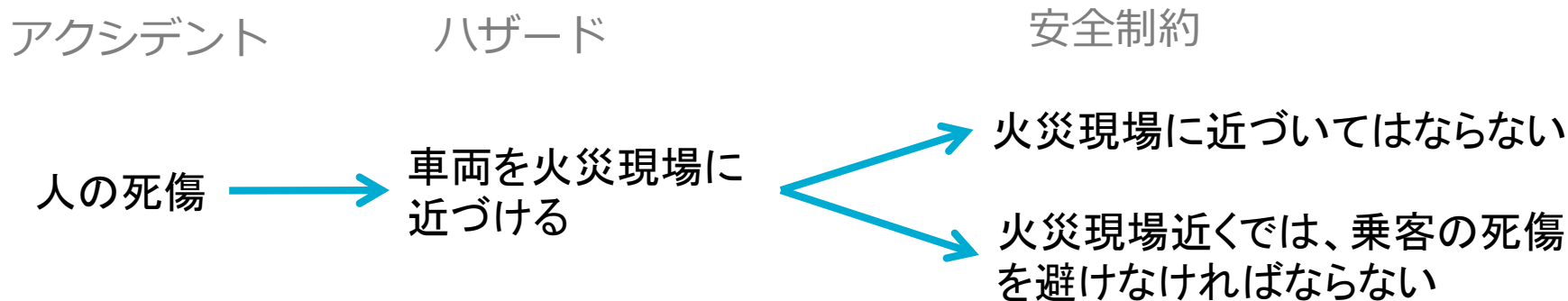
- (1) 物理的なコンポーネントを抽出
- (2) コントロールストラクチャ定義

STEP 3．事故につながる非安全なコントロールアクション（UCA）を特定

STEP 4．UCAに対する要因（HCF）を抽出

- (1) メンタルモデルの不備
- (2) 意思決定がされた状況（コンテキスト）特定

■ 電車運行のアクシデント、ハザード、安全制約の例



コンポーネント (物理的)

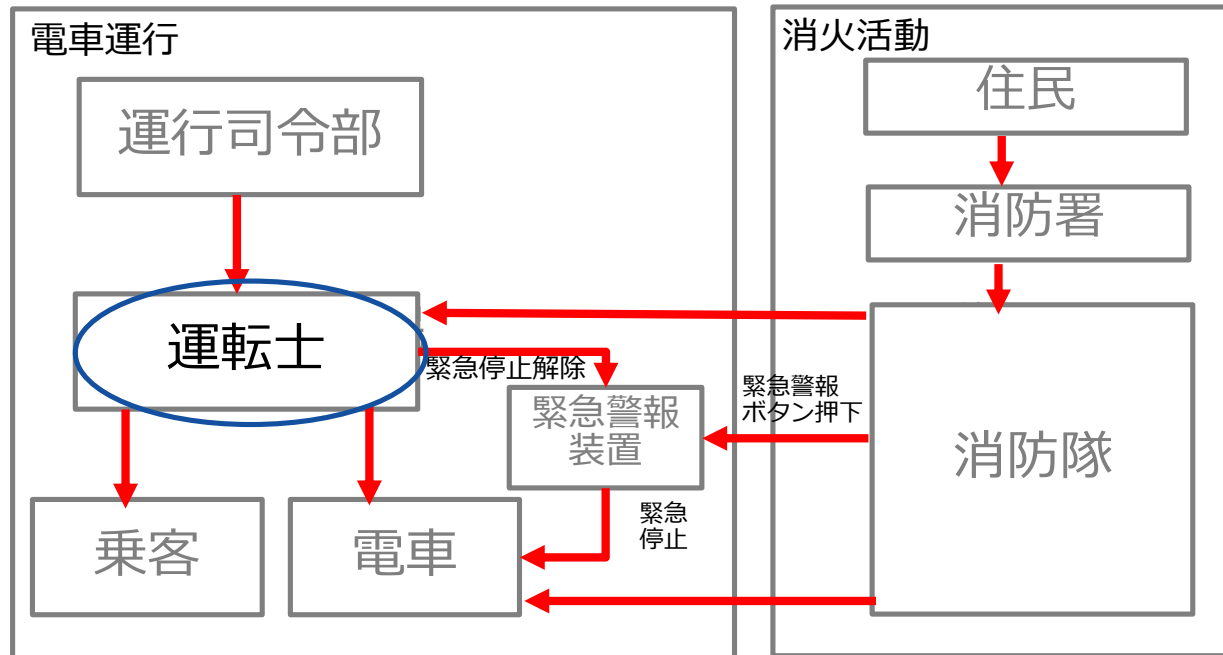
電車運行

- 運行司令部
- 運転士
- 緊急警報装置
- 乗客
- 電車

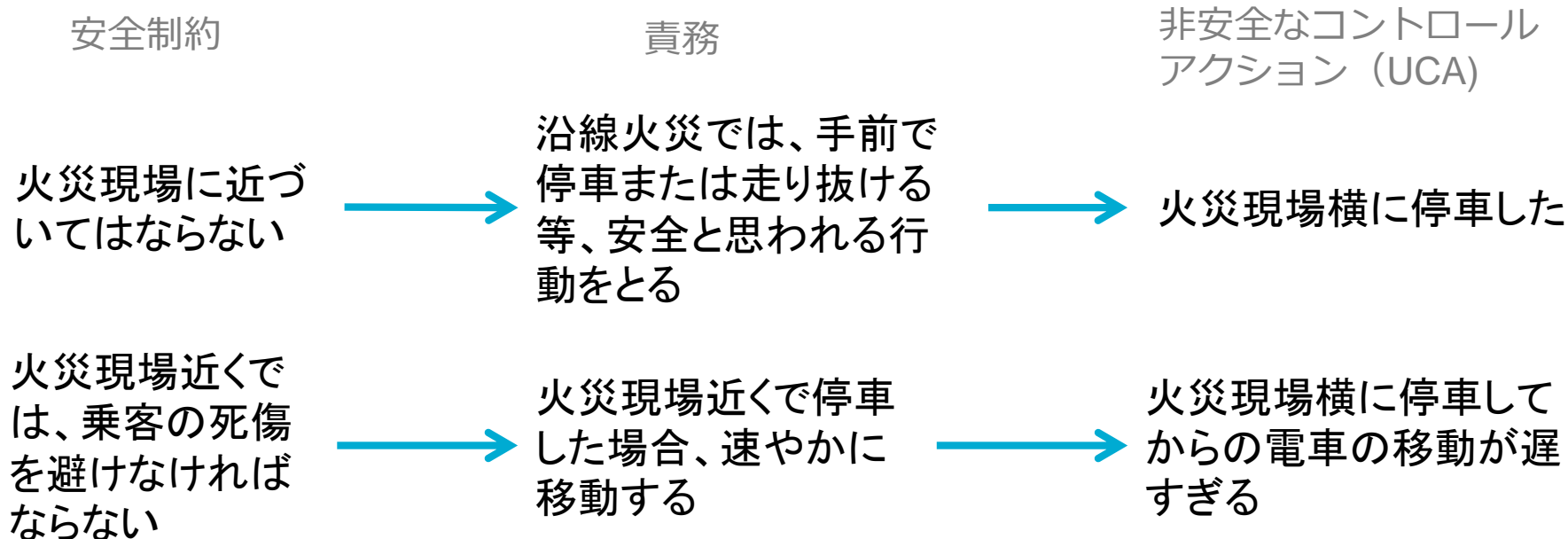
火災対応

- 住民
- 消防本部
- 消防隊

コントロールストラクチャ



■ 電車運行の安全制約、責務、UCAの例



■ 電車運行のUCAに対する運転士のメンタルモデルの不備の例

非安全なコントロール
アクション (UCA)

メンタルモデルの不備

火災現場横に停車した

火災現場横に停車して
からの電車の移動が遅
すぎる

運転士は、ボタンを押された理由を知ら
ず、火災現場横に停車していると思っ
ていない

運転士は、車両が燃えていないと
思っている

■ 運転士のメンタルモデルの不備に対するコンテキストの例

メンタルモデルの不備

判断を行ったコンテキスト

運転士は、ボタンを押された理由を知らず、火災現場横に停車していると思っていない



沿線や電車火災の対応方法に対するプロシージャが不十分

運転士は、車両が燃えていないと思っている

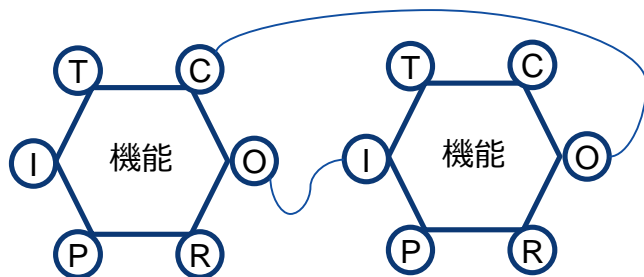


沿線や電車火災の経験および事例がない



電車火災を確認する手段がない

- FRAM（Functional Resonance Analysis Method）は、レジリエンスエンジニアリングの考え方に基づいた分析手法で、事故（事後）分析も可能である
- “現場の日々の仕事”に着目し、機能単位に分け、機能間の関係性を6つの側面（入力(I)、出力(O)、前提条件(P)、制御(C)、資源(R)、時間(T)）で捉え、モデル化する
- 想定される仕事（Work as imagined :WAI）に対し実際の仕事（Work as done : WAD）の違いをギャップとして捉え、ギャップや機能の関係性などから事故の要因を分析する



FRAM分析プロセス

- STEP 1. WAIモデル策定
- STEP 2. WADモデル策定
- STEP 3. WAI・WADのギャップと要因分析

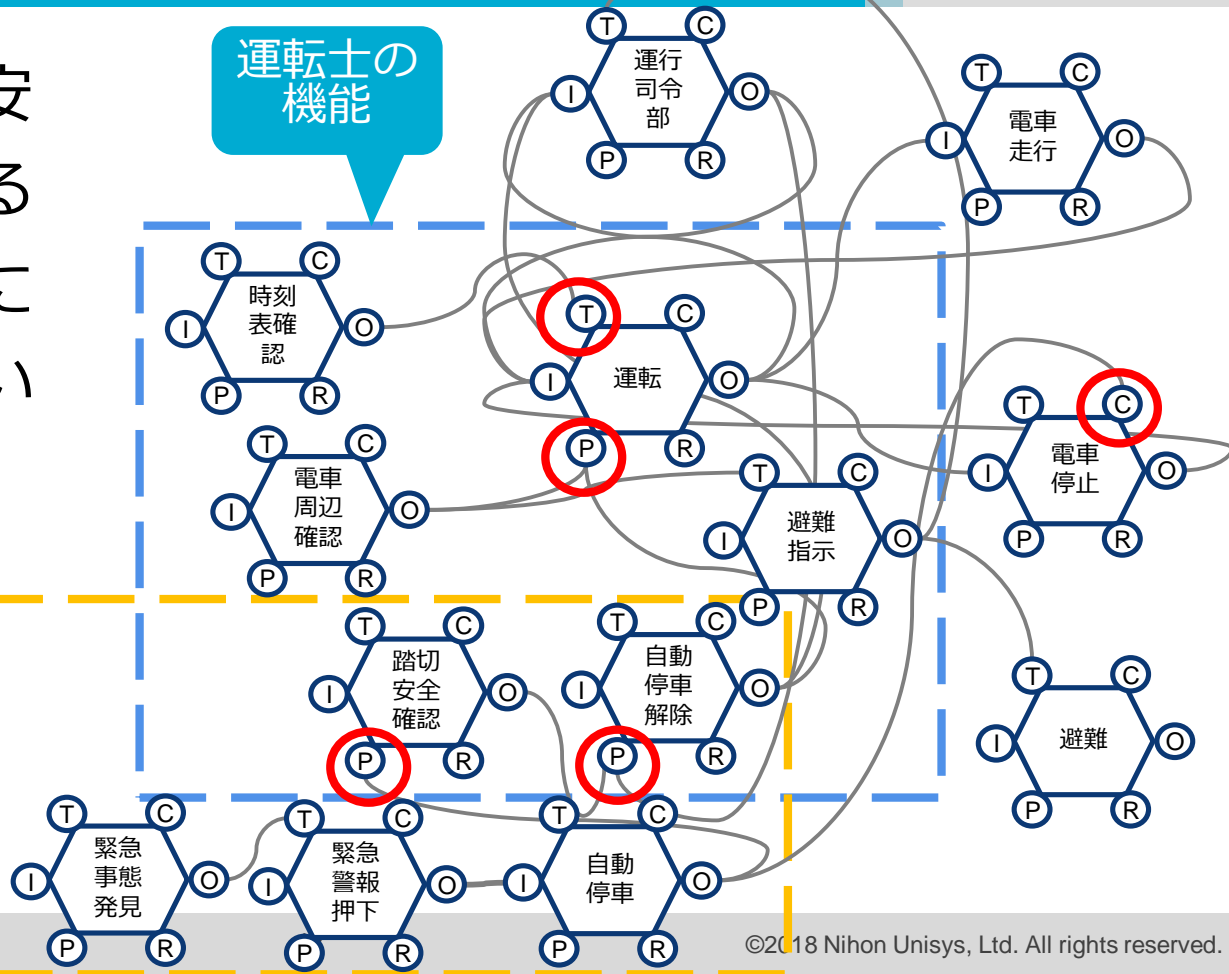
STEP1 WAIモデル策定（電車運行）

Foresight in sight

- 通常時では時間と安全性を重視している
- 緊急警報時は、特に安全性を重視している

緊急警報時の機能

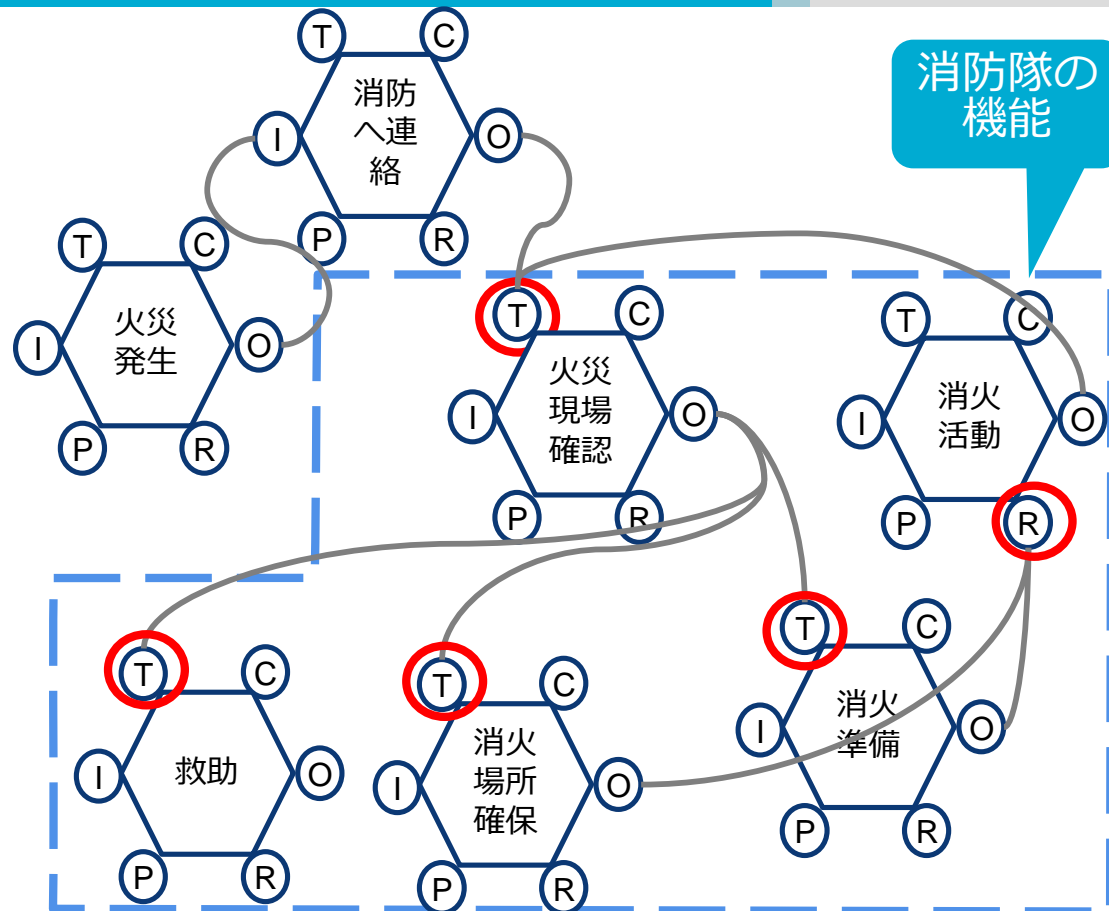
運転士の機能



STEP1 WAIモデル策定（消火活動）

Foresight in sight

- 消火では各機能は迅速な対応が求められ、常に時間的プレッシャーがある
- 消火活動では消火に必要なリソースの確保が迅速な消火に影響する

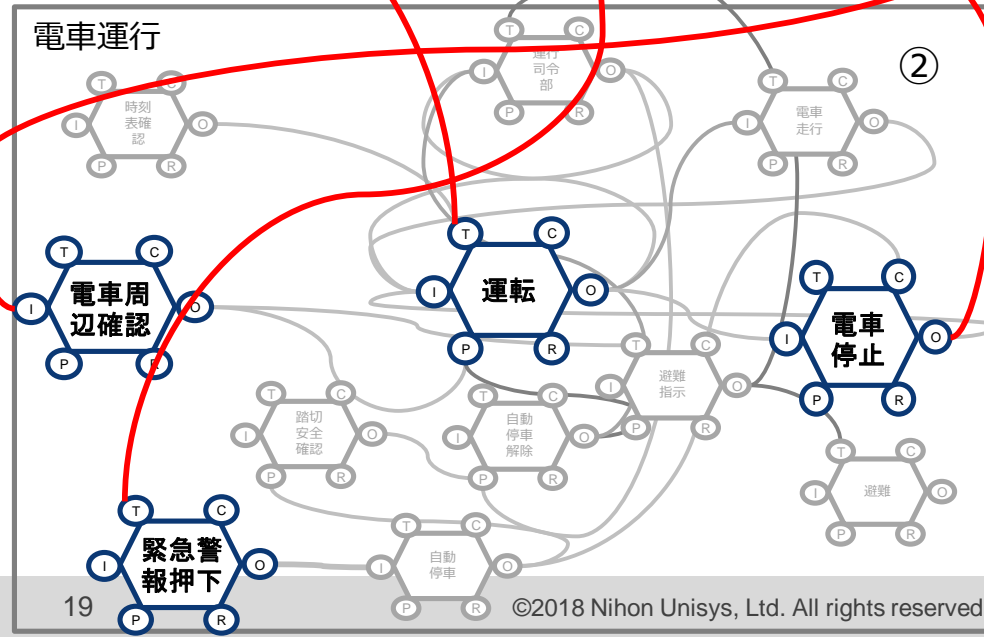
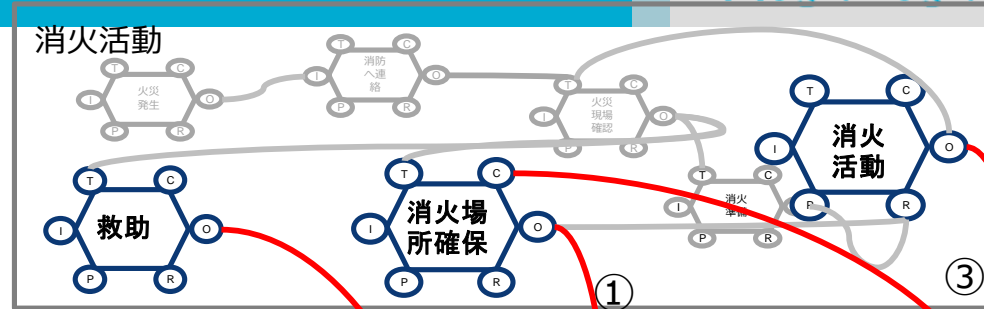


STEP2 WADモデル策定

Foresight in sight

- 消火活動と電車運行の間で新たな関係性が発生し、各機能に影響（変動）を与えている

- ① 消防隊が緊急停止ボタンを押下
- ② 電車が停止し、消火場所確保できず
- ③ 消火活動中に電車に飛び火
- ④ 運転士に電車火災及び避難を連絡



STEP3 WAI・WADのギャップと要因分析（運転士）

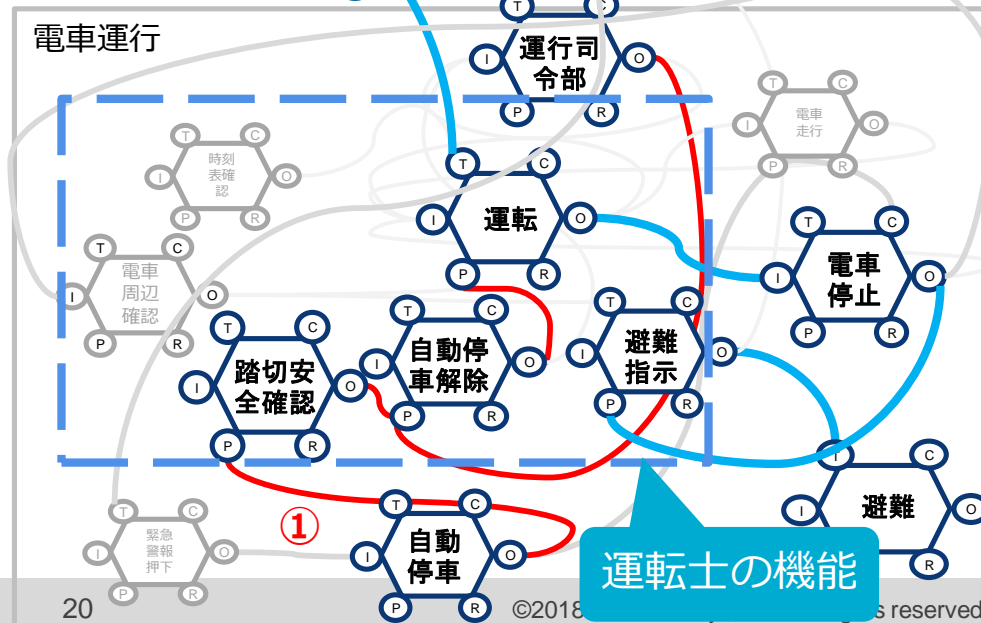
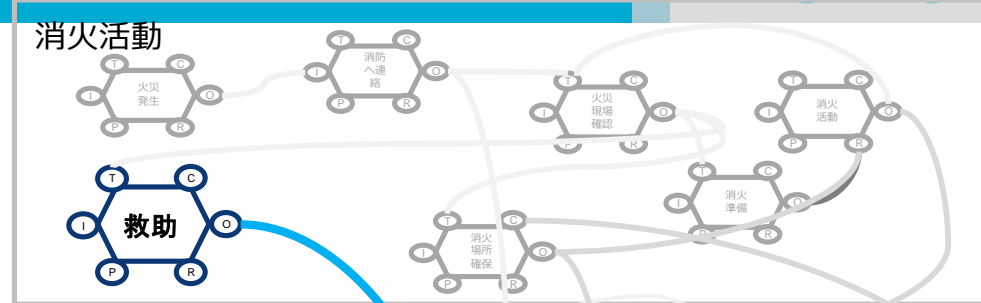
Foresight in sight

■ WAIとWADのギャップ 例

- ① 踏切の安全確認に時間がかかりその間に電車が火災（時間かかりすぎ）
- ② 消防隊からの連絡を受け即座に停止・避難した（臨機応変な判断）

■ ギャップの要因 例

- ① 緊急警報時は踏切の安全確認が最優先と考えており時間を優先できなかった
- ② 現場の状況から消防隊の指示が優先と判断し結果的にけが人なく避難できた



1 はじめに

2 分析手法の違い

3 分析事例

4 比較とまとめ

分析結果の違い（例）

■ 火災現場横に長く停車した事象に対する要因例の比較

	起点	事故時の事象	要因	直接的な要因
CAST	<ul style="list-style-type: none">火災現場近くでは乗客の死傷を避けなければならない	<ul style="list-style-type: none">火災現場横に停止してからの移動が遅すぎる	<ul style="list-style-type: none">運転士が火災現場横に停車していると思っていない沿線・電車火災の対応方法に対するプロシージャが不十分	
FRAM	<ul style="list-style-type: none">運転士は安全確認の上、時間どおりに運行する	<ul style="list-style-type: none">踏切の安全確認に時間がかかり、その間に電車火災となった（時間かけすぎ）	<ul style="list-style-type: none">緊急警報時は踏切の安全確認が最優先と考えており、時間を優先できなかった	根本的な要因

日頃の状況をもとに抽出（間接的な要因）

■ 多様な要因抽出の例（良い変動に対する要因例）

	起点	事故時の事象	要因
FRAM	<ul style="list-style-type: none">運転士は安全確認の上、時間どおりに運行する	<ul style="list-style-type: none">消防隊の連絡により即座に停車・避難指示（適切な判断）	<ul style="list-style-type: none">現場の状況から消防隊の指示が優先と判断し結果的にけが人なく避難できた

■ CASTとFRAMを実践し違いを実感

- もともと認識していたとおりの違いがあることがわかった
- CASTは比較的スムーズに分析できたが、FRAMは機能や関係性の捉え方など自由度が高く試行錯誤することが多かった
- CASTは緊急性を要する場合や分析の条件や目的などが明確な場合に向いている
FRAMは良い変動に対する要因分析も含め事故の要因を幅広く捉えたい場合に向いている

■ 事故（事後）分析におけるCASTとFRAMの使い分け

- CASTとFRAMで分析しやすい要因の違いはあるものの、基本的な分析結果は双方ともに大きな違いはない
分析自体はCASTがやりやすいため、基本的にはCAST分析を主に行い、必要に応じてFRAMで良い変動に対する要因分析を行うなどの使い分けが考えられる

■ 今後は、今回の分析をもとにWAIのモデルを見直ししてみたい

また、ハザード（事前）分析においてSTPAとFRAMを実践し比較したい

- Leveson, N. G., Engineering a Safer World., The MIT Press, 2012
- Leveson, N. G. et al., “CAST Intro, examples, practice”, 2018, <http://psas.scripts.mit.edu/home/wp-content/uploads/2018/04/other-Leveson-PUB-CAST-tutorial-notes-2018.pdf>
- 向山 輝, 鉄道沿線火災事故のFRAM分析試行, FRAMily Japan2017, 2017, <https://www.ipa.go.jp/files/000063364.pdf>
- エリック・ホルナゲル, 社会技術システムの安全分析 FRAMガイドブック, 海文堂出版, 2013

Foresight in sight

UNISYS