

令和元(2019)年
シンビオ社会研究会 第2回研究談話会

組織における作業の変容と定着が列車運行の 安全性に及ぼす影響に関する研究

西日本旅客鉄道株式会社 安全研究所

人間工学研究室 福田 啓介

2019年10月25日

自己紹介

安全研究所

- 2006年設立。鉄道の運営部門には属さない研究所。
- 主に心理学の観点から、鉄道におけるヒューマンファクターに関する研究を行う
- 人間工学研究室:ヒューマン・マシン・インタフェースに関する研究を行う

福田について

- 2008年JR西日本に入社。車両メンテナンス部門で検査業務に3年間従事
- 2011年安全研究所配属。
- 2013年から京都大学大学院工学研究科機械理工学専攻 博士課程

「作業変容」の研究に至ったいきさつ

- テーマの始まりは,
「鉄道車両の運転台における情報伝達の改善」
- 人間と機械の関係性が情報伝達の成否を左右する
—人間が機械をどう認識して作業をするか—
- 関係性は不変なのか？
最初は「決められたとおり」に人間は機械を使うけれど・・・
- 規定された方法から、作業の実行方法が変わる「作業変容」は
どうして起こるのか？

人間—機械系の「作業変容」に関する
安全性分析に取り組むこととなった

鉄道が持つ特徴

多様なサブシステムと相互作用

- 独自の技術体系を持つ
 - 多様な部門(運転, 車両, 保線, 電力, 信号通信)から構成される
- 部門間が連携して同じ1つの列車運行体系を維持している

現場における臨機応変

- 規程類の遵守を前提として, 必要な判断は係員に一任
- 気象条件, 季節による繁閑, 社会情勢の変化などに対応

作業変容が起こる仕組を把握する上で,
作業への影響因子の個々への着目・理解では不十分

作業変容を「力学」で捉える

- 「作業変容を発生させない」は現実的ではない
- 「作業変容が顕在化した部分を修正」だけでは、再び作業変容が発生する



どのような**力**が働き、何がどう**変化**する(した)のか把握する、
「力学」という観点で捉え、備えるべき

	受ける力	発生する運動
組織	社会からの要請, 組織内の対立・葛藤	規程・規範の変容
作業	作業者が直面する状況変化, 作業実行上の「ゆらぎ」	作業全体のパフォーマンス変化 不安全事故・事故の発生

作業の一部分のパフォーマンスに幅(≡ばらつき)が出ること

作業変容に対する既存のアプローチ

● 作業現場への着目 ミクロ系での理解

「作業変容＝望ましくない事象」であり、不安全事故として顕在化

人間信頼性解析： 個々の手順の失敗確率と失敗モードから、システム全体の挙動を評価

事故分析： 因子間の因果関係の連鎖から、不安全事故に至る過程を説明

● 組織への着目 マクロ系での理解

組織—技術系：ある技術に適合する規定、体制、報酬体系などを抽出

組織—人間系：組織の構成員の行動に影響を与える組織風土・規範などを抽出

ミクロ系、マクロ系がともに動的に変化をし、
相互作用により、それぞれが変容することを考慮できていない

本研究で導入する手法・理論

- 機能共鳴分析手法
(Functional Resonance Analysis Method: FRAM) [Hollnagel, 2004]
- 活動理論
(Activity Theory: AT) [Engestrom, 1987]

両者については以下の内容が取り組まれていない

- 事例を分析に落とし込む具体的な方法や判定基準を示すこと(操作化)
- 両者が表現する現象同士の相互関係を示すこと
- 組み合わせる具体的方法を示すこと

機能共鳴分析手法 [Hollnagel, 2004]

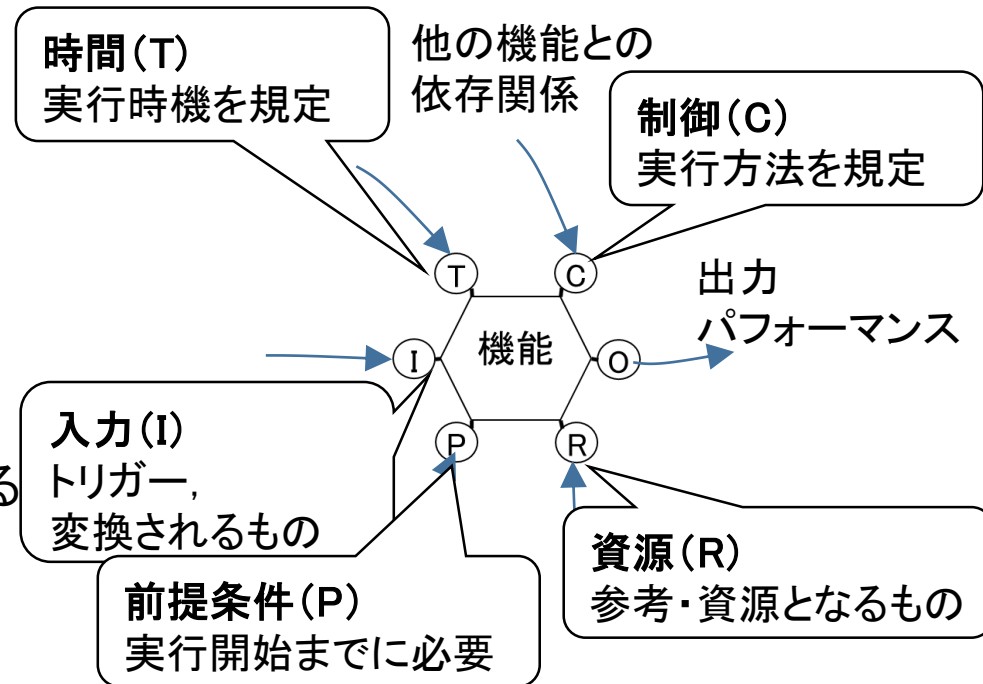
Functional Resonance Analysis Method: **FRAM**

機能とは

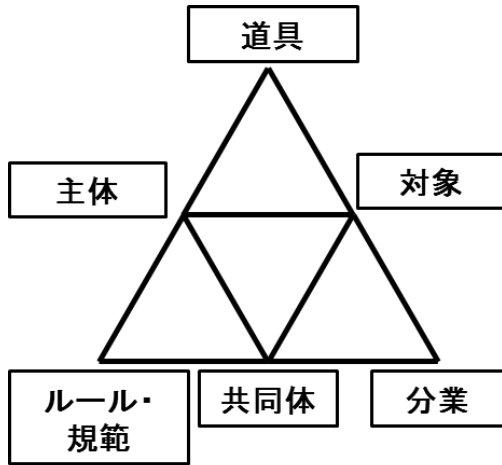
- ・作業における行為に相当する
- ・機能同士の依存関係には6つの側面がある

FRAMでは,

- ・機能のパフォーマンスに変動が生じる
⇒「ゆらぎ」とする
- ・依存関係を通じたゆらぎの伝播が
事故や不安全事象を出現させると考える



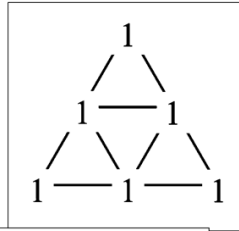
活動理論 [Engeström, 1987]



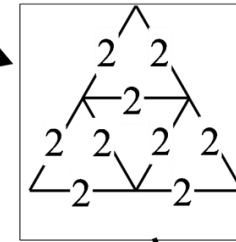
- 要素間の媒介構造に着目
- 活動における対立・葛藤に着目

外力に相当

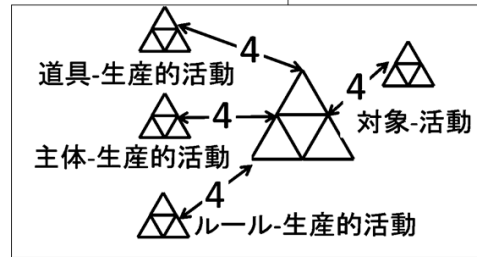
第1レベルの
矛盾



活動外の要請・変化

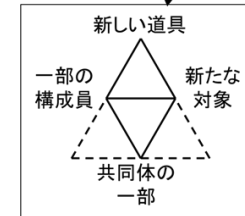


第2レベルの
矛盾



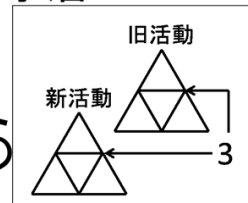
第4レベルの
矛盾

拡張的移行の
サイクル



ミクロコスモス(小活動)による
活動の新形態(スプリングボード)
の登場

第3レベルの
矛盾



• 対立・葛藤を「矛盾」とし、
4レベルに分類

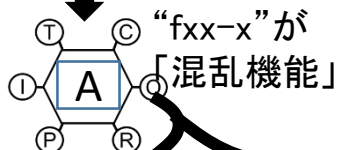
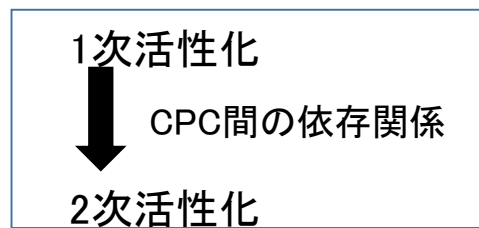
提案手法：作業に対するFRAMを用いた分析

移ろいゆく作業周囲の状況（作業主体が認識する周囲の状態）

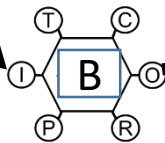
→状況を分類したCPC（Common Performance Conditions）[Hollnagel, 1998]で表現

ゆらぎの影響伝播の追跡方法

CPCの活性化

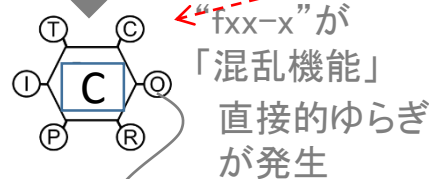
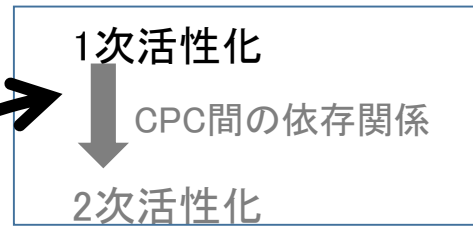


直接的ゆらぎ
が発生



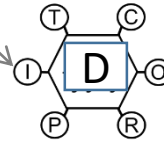
「被影響機能」B機能「A」（上流の機能）の
「直接的ゆらぎ」が外力となり、パフォーマンスが変動

CPCの活性化

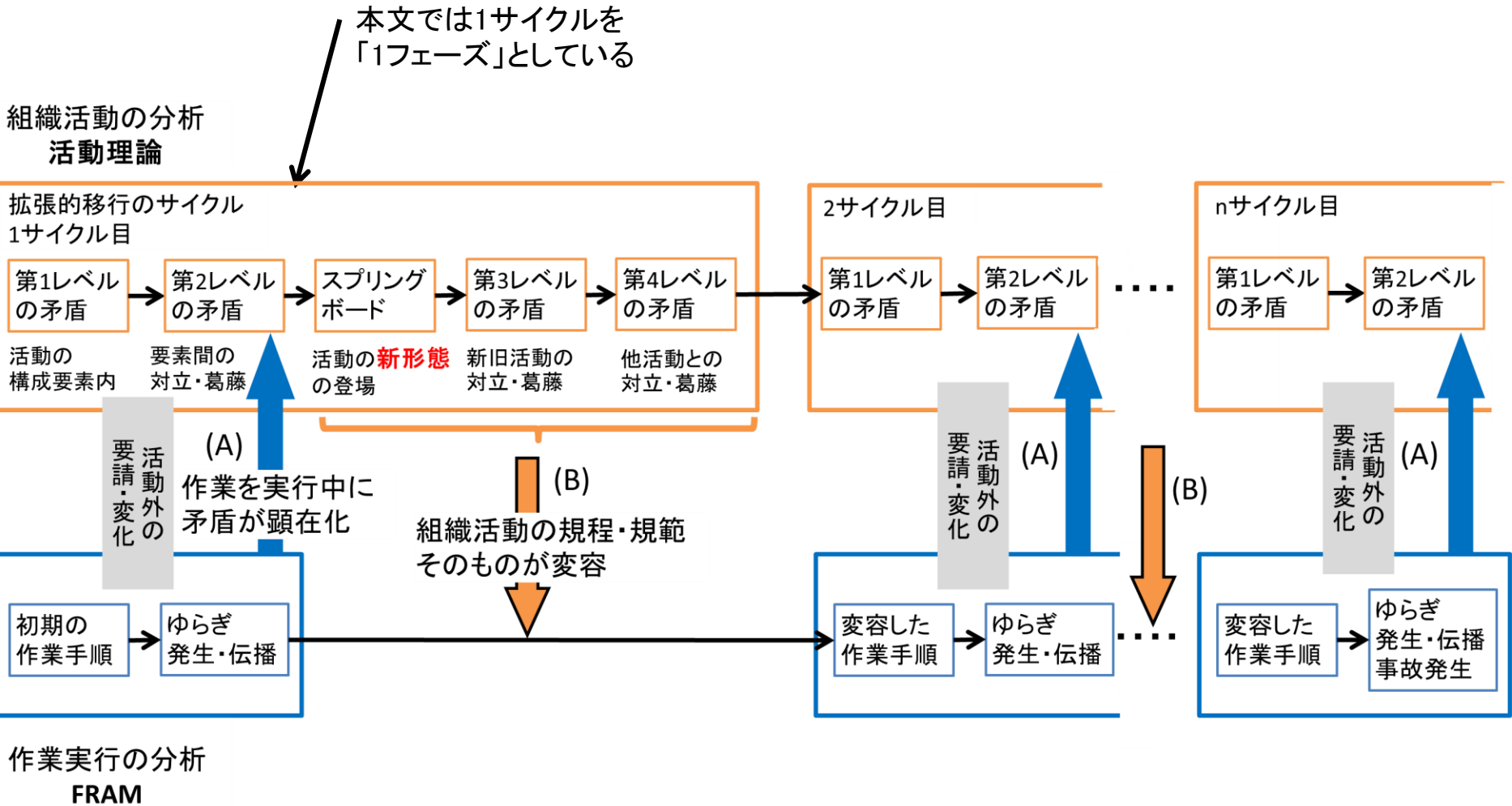


「fxx-x」が
「混乱機能」
直接的ゆらぎ
が発生

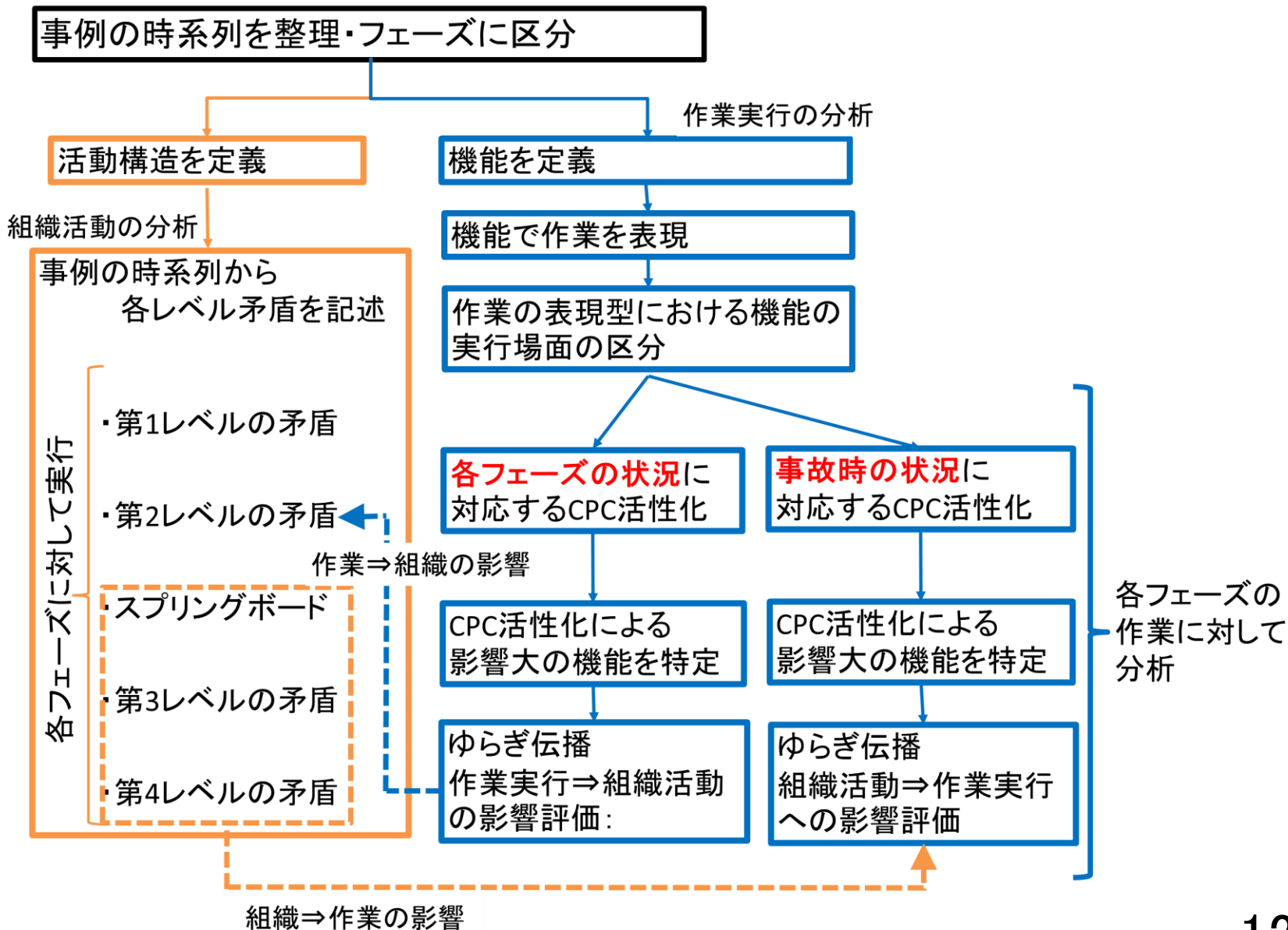
機能A・Bのパフォーマンス変動
それに伴うCPCの活性化が外力となり
機能「C」のパフォーマンスが変化



活動理論とFRAMの対応関係



提案手法：全体の分析プロセス



事故事例(概要)

- 単線区間での列車同士の正面衝突事故
- 一方の列車が停止信号を無視して走行
- 事故当時は信号システムが故障していた
- 事故前にも故障に伴う信号無視があった
- 信号システムを複数の社が勝手に改造
- 故障のうち一部は, 改造に由来して発生

事故事例(時系列)

<p>フェーズ0</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・駅間は常に1列車のみ ・全ての信号が係員による操作
<p>フェーズ1 信号システム ・行違設備 設計と届出</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・ は自動で現示が切替る ・安全装置: 「停止」現示で出発すると対向列車への信号機は「停止」現示 ・C社指令所に 「停止現示」固定機能 (右向き列車を足止めできる)
<p>フェーズ2 信号システムを 両者が改造 (使用開始前)</p>		<p>E社による無断改造</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ の固定機能をE社指令所へ付替 <p>C社による無断改造</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ が早めに切替るよう回路変更 (の回路を追加)
<p>フェーズ3 直通運転開始 2度の故障 (改造と関係無)</p>	<p>フェーズ2で改造された信号システム</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2度の故障発生 (改造とは関係なし) ・ 一部省略あるが, 所定の手続を実施
<p>フェーズ4 不正な出発 と隠蔽</p>	<p>フェーズ3と同じ信号システム</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 故障発生 (「停止」現示のまま) ・ 所定の手続は実施されずに列車出発 ・ 安全装置が作動
<p>フェーズ5 不正な出発 と不適切な修理</p>	<p>フェーズ3と同じ信号システム (ただし, 修理中は安全装置は作動しておらず)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 故障発生 (「停止」現示のまま) ・ 所定の手続は実施されずに列車出発 ・ 安全装置は作動せず, 事故発生

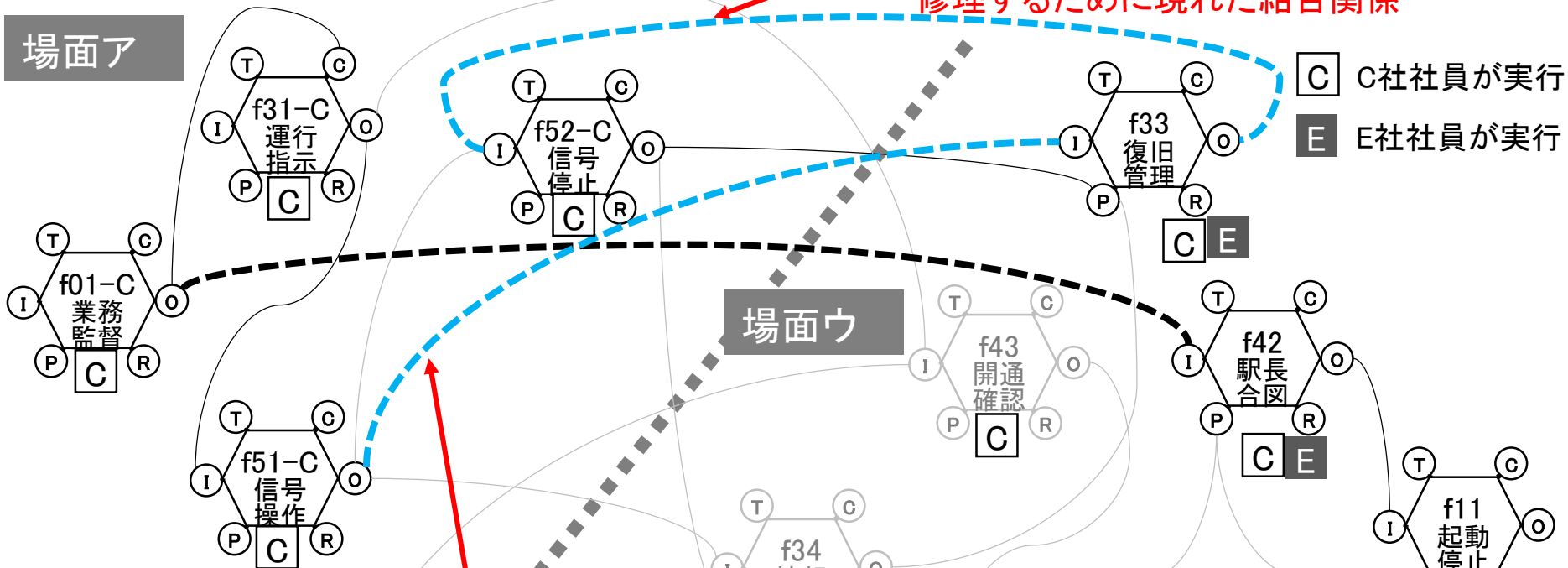
組織活動の分析

	第1の矛盾 各要素に 内在する葛藤	第2の矛盾 要素間の葛藤	スプリングボード とマイクロコスモス 新形態の登場	第3の矛盾 新旧の活動形態間 の葛藤	第4の矛盾 分析の中心の活動と 隣接活動との葛藤
フェーズ1	【対象】 大量輸送を期待 v.s. 普通の輸送量少ない	【変化】 イベント開催決定 【矛盾】 旅客・列車増に対応不可	行違設備 信号システムの 導入： 両社の設計担当	両社間の連絡を 煩雑に感じる	・信号取扱・運行指令 の権限関係が複雑 ・E社がC社に迅速な 対応を要求
フェーズ2	【対象】 大量輸送を期待 v.s. 列車遅れ整理が複雑	【変化】 信号システム変更の要求 【矛盾】 投資・手間かけられず	各社が勝手に 仕様変更・改造： 各社の設計担当	両社ともに実際の 信号システム仕様を 知らない	・信号システムの あいまいな保守体制 ・不適切な取扱
フェーズ3	【道具】 正確な仕様が不明 v.s. 遅れに応じた取扱	【変化】 信号システムの故障発生 【矛盾】 混乱・故障復旧の手間	復旧手順の 一部省略： C社一部社員	・不正確な情報伝達 ・不安全事故の隠蔽	・故障発生への諦め ・故障や事象の隠蔽
フェーズ4	【道具】 同種故障が続く v.s. 早期復旧が必要	【変化】 イベント始まる 【矛盾】 慢性的遅れ, 時間余裕なし	安全装置を利用し 停止現示のまま 列車を出発	・違反の隠蔽と 正当化	・安全装置を利用した 運行中の修理 ・違反や事象の 表面化への焦り
フェーズ5	【道具】 故障修理が日常化 v.s. 安全装置を利用	【変化】 故障再発と外部からの監査 【矛盾】 安全装置への期待 事故発生	安全装置を利用 しつつ, 修理を実施 (失敗)	—	—

作業の表現型と作業変容

信号システムを使用しながら
修理するために現れた結合関係

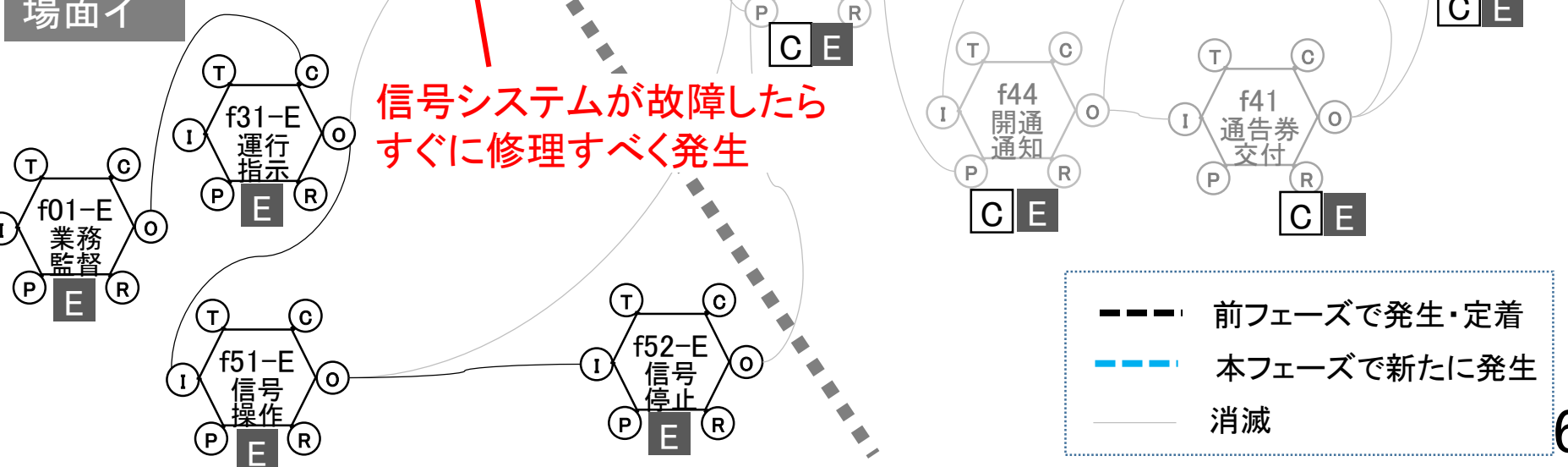
場面ア



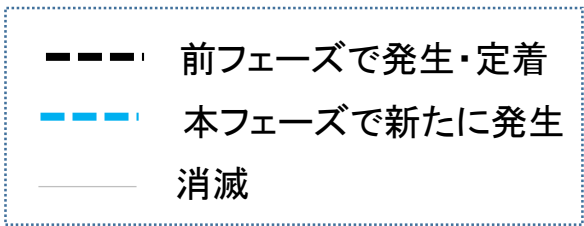
C C社社員が実行
E E社社員が実行

場面ウ

場面イ



信号システムが故障したら
すぐに修理すべく発生



作業での事象⇒組織活動への影響

- 各フェーズの作業に**当時のCPC活性化**を与える
- ゆらぎ伝播は「**第2の矛盾**」の出現過程を表す

	場面ア C社指令所・B駅	場面イ E社指令所・A駅	場面ウ 列車・A駅～B駅間
フェーズ3	【状況変化】 信号システムに注意集中 【ゆらぎ】 指揮命令の機能	【状況変化】 【ゆらぎ】 場面1Aと同じ	【状況変化】 情報伝達・指揮命令の混乱 【ゆらぎ】 運転士への指示・合図が 不正確
フェーズ4	【状況変化】 イベント開始・人手不足・ 遅れの收拾 【ゆらぎ】 指揮命令の機能	【状況変化】 直通列車の運行状況 への注目 【ゆらぎ】 指揮命令の一部機能	【状況変化】 両社間の連絡混乱, 遅れ整理 【ゆらぎ】 拙速なor遅すぎる合図
フェーズ5	【状況変化】 人手不足・遅れの收拾 【ゆらぎ】 指揮命令の機能	【状況変化】 直通列車の運行状況 への注目 【ゆらぎ】 指揮命令の一部機能	【状況変化】 両社間の連絡混乱, 遅れ整理 【ゆらぎ】 信号システムの操作と修理 の間で実行の乱れが増幅 事故発生

組織活動の分析

	第1の矛盾 各要素に 内在する葛藤	第2の矛盾 要素間の葛藤	スプリングボード とマイクロコスモス 新形態の登場	第3の矛盾 新旧の活動形態間 の葛藤	第4の矛盾 分析の中心の活動と 隣接活動との葛藤
フェーズ1	【対象】 大量輸送を期待 v.s. 普通の輸送量少ない	【変化】 イベント開催決定 【矛盾】 旅客・列車増に対応不可	行違設備 信号システムの 導入： 両社の設計担当	両社間の連絡を 煩雑に感じる	・信号取扱・運行指令 の権限関係が複雑 ・E社がC社に迅速な 対応を要求
フェーズ2	【対象】 大量輸送を期待 v.s. 列車遅れ整理が複雑	【変化】 信号システム変更の要求 【矛盾】 投資・手間かけられず	各社が勝手に 仕様変更・改造： 各社の設計担当	両社ともに実際の 信号システム仕様を 知らない	・信号システムの あいまいな保守体制 ・不適切な取扱
フェーズ3	【道具】 正確な仕様が不明 v.s. 遅れに応じた取扱	【変化】 信号システムの故障発生 【矛盾】 混乱・故障復旧の手間	復旧手順の 一部省略： C社一部社員	・不正確な情報伝達 ・不安全事故の隠蔽	・故障発生への諦め ・故障や事象の隠蔽
フェーズ4	【道具】 同種故障が続く v.s. 早期復旧が必要	【変化】 イベント始まる 【矛盾】 慢性的遅れ, 時間余裕なし	安全装置を利用し 停止現示のまま 列車を出発	・違反の隠蔽と 正当化	・安全装置を利用した 運行中の修理 ・違反や事象の 表面化への焦り
フェーズ5	【道具】 故障修理が日常化 v.s. 安全装置を利用	【変化】 故障再発と外部からの監査 【矛盾】 安全装置への不正使用 事故発生	安全装置を利用 しつつ, 修理を実施 (失敗)	—	—

組織活動⇒作業での事象への影響

- 各フェーズの作業に**事故時のCPC活性化**を与える
- ゆらぎ伝播は**事故時の状況に対する各フェーズ作業の耐性**を表す

	場面ア C社指令所・B駅	場面イ E社指令所・A駅	場面ウ 列車・A駅～B駅間
フェーズ3	【状況変化】 人手不足・遅れの收拾 【ゆらぎ】 指揮命令の機能	【状況変化】 直通列車の運行状況 への注目 【ゆらぎ】 指揮命令の一部機能	【状況変化】 両社間の連絡混乱, 遅れ整理 【ゆらぎ】 波及やや小, 係員間の支援有
フェーズ4	【状況変化】 人手不足・列車遅れの收拾 【ゆらぎ】 指揮命令の機能	【状況変化】 直通列車の運行状況 への注目 【ゆらぎ】 指揮命令の一部機能	【状況変化】 両社間の連絡混乱, 遅れ整理 【ゆらぎ】 拙速なor遅すぎる合図
フェーズ5	【状況変化】 人手不足・遅れの收拾 【ゆらぎ】 指揮命令の機能	【状況変化】 直通列車の運行状況 への注目 【ゆらぎ】 指揮命令の一部機能	【状況変化】 両社間の連絡混乱, 遅れ整理 【ゆらぎ】 信号システムの操作と修理 の間で実行の乱れが増幅
青字: 「作業⇒組織活動」と同結果 橙時: 「作業⇒組織活動」と差異有			

分析結果概要

- 組織内の矛盾が作業中の事象として表れる過程を示した.
- 組織活動による作業の実行方法の変容の, 事故出現への影響関係を示した
- 信号システム故障に伴い, 実行しにくい一部手順が省略された
- 故障+旅客の混雑により, さらに手順の省略・順序変更が生じた

結論

- 作業現場というミクロ系、組織活動というマクロ系にそれぞれ内在する力学と、必要とされる分析手法について議論
- それぞれの力学が持つ特徴に応じて、機能共鳴分析手法と活動理論を導入
- 作業者が状況に対応する中で、作業の実行しにくい手順が顕在化し、隠蔽や情報伝達の疎漏など組織の変容に至る過程を示した
- 提案手法により、新技術の導入に伴う作業変更が、組織・作業現場に与える影響について、不安全事故の発生前の把握に繋げる

当話題に関連する論文・国際会議

論文

- 福田啓介, 榎木哲夫, 堀口由貴男: 機能共鳴分析手法と活動理論の融合による作業変容に対する安全性分析の方法論的検討, 信頼性, Vol.41, No.3, pp.247-260, 2019

国際会議

- Fukuda K, Sawaragi T, Horiguchi Y: Double-Looped Safety Analysis for Organizational Accidents Combining Activity Theory and Functional Resonance Analysis Methods and its Application to Railway Incidents, Proceedings of 3rd International Workshop on Functional Modelling for Design and Operation of Engineering Systems, pp.26-29, 2018.

ありがとうございました