

日本の製造業の現場の強みを活かしながら
デジタル化を実現するための
「デジタル・トリプレット」

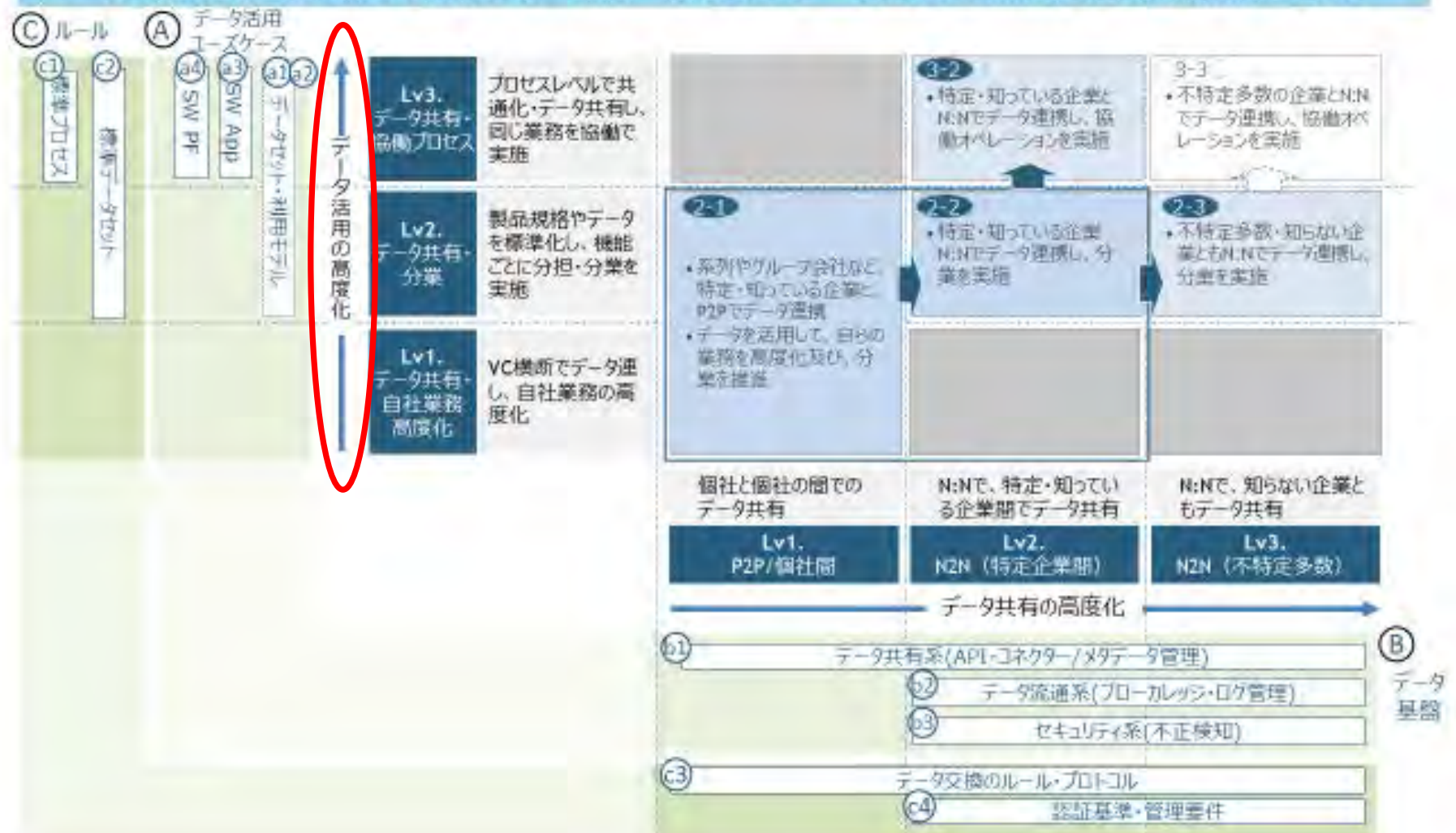
東京大学大学院工学系研究科
人工物工学研究センター 教授 梅田 靖

私の話の位置づけ

ユースケース・設計RDの最適化：実現したい水準

討議用

- 実現したいことによって、抑えるべきルール及び、データ共有基盤に必要な機能が変わる



日本企業におけるデジタル化

- 典型的なパターン
 - 工作機械にIoT機能を追加し、沢山のログデータを収集できるようになっていることは、広く普及
 - しかし、それを使ってどう価値を産み出せば良いのかはよく分からない...
- 一方で、先進企業は動き始めているがやっぱり先頭は走れていない...
 - FANUC Field system
 - 三菱電機 Edgexcross
 - 機器間の接続、情報の流通経路としてのプラットフォームにはなっている
 - シーメンス、ダッソーのように豊富なソフトウェア群でエンジニアリングチェーン全体を支援するプラットフォームにはなっていない

どうすれば良いのか？

- 「高品質品の大量生産」に代わるものづくり戦略が必要
 - 日本メーカの強みを新しい器 (IoT, CPS, AI, ...)に盛り直す

「高品質なものづくり」: 高品質な製品、不良品のないきめ細かなものづくり、製造工程での改善、コストダウン

- 生産システム技術者への新しい教育の必要性
 - デジタル化された生産システムにおいては、作業者は、物理世界に加えてサイバー世界を活用して、あらゆるエンジニアリング活動(例:生産システムの計画、設計、開発、構築、運用、メンテ、カイゼン、撤収)を実施しなければならない
 - ≫ 生産工学の現状の教育カリキュラムが古すぎる
 - ≫ 生産科学に加えて、デジタル技術とシステム思考が必要

我々のやりたいこと

EXHIBIT 2 | With an Integrated Approach, Lean and Industry 4.0 Are Mutually Enabling



Source: BCG analysis.

Note: SOP = standard operating procedure.

[The Boston Consulting Group: When lean meets Industry 4.0, 2017]

デジタル・トリプレット(D3)

- 背景

- Industrie4.0は、トップダウンアプローチ
 - » トップダウンの意思決定
 - » 生産ラインは余裕を持った造りで、そうそうは変わらない
 - » 極力自動化
 - » CPPS (Cyber Physical Production System)(工場に適用したCPSという意味)に現場で手を加えることは恐らく想定していない



- 日本の強み
 - » 現場の熟練者、生産技術者の質の高さ
 - » 日々のカイゼン
 - » 常にムダ取りをして、日々成長する生産ライン

- 目的

- 製品ライフサイクル全体にわたって、技術者・技能者の問題解決、価値創造を支援
- 現場の技術者の知識、判断を形式知化
- 現場の技術者がデジタル・トリプレット自体をどんどんカイゼン

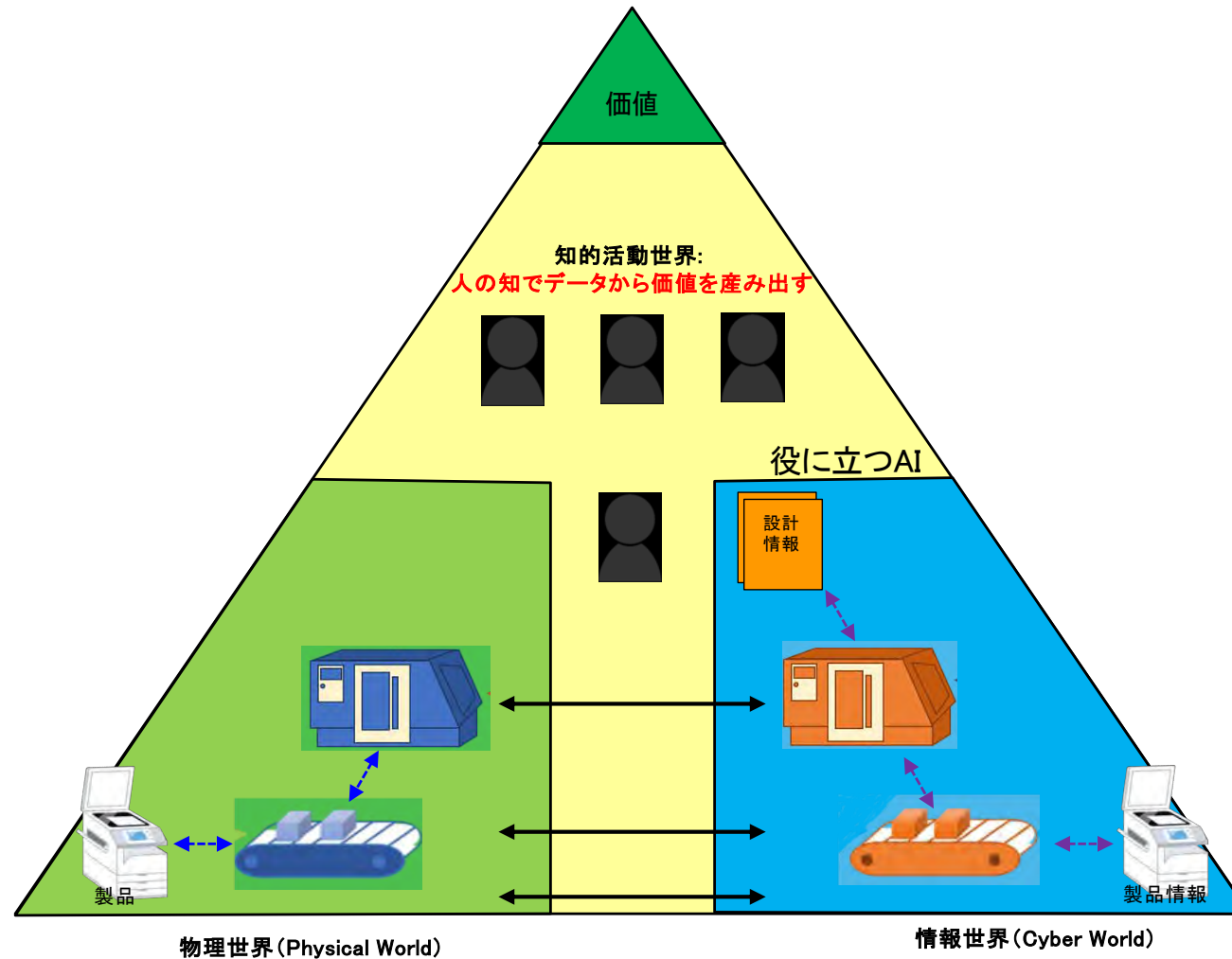
→ 人間中心のデジタル時代のものづくり

デジタル・トリプレット(D3)のイメージ

ライフサイクルにわたるエンジニアリング活動の統合的支援

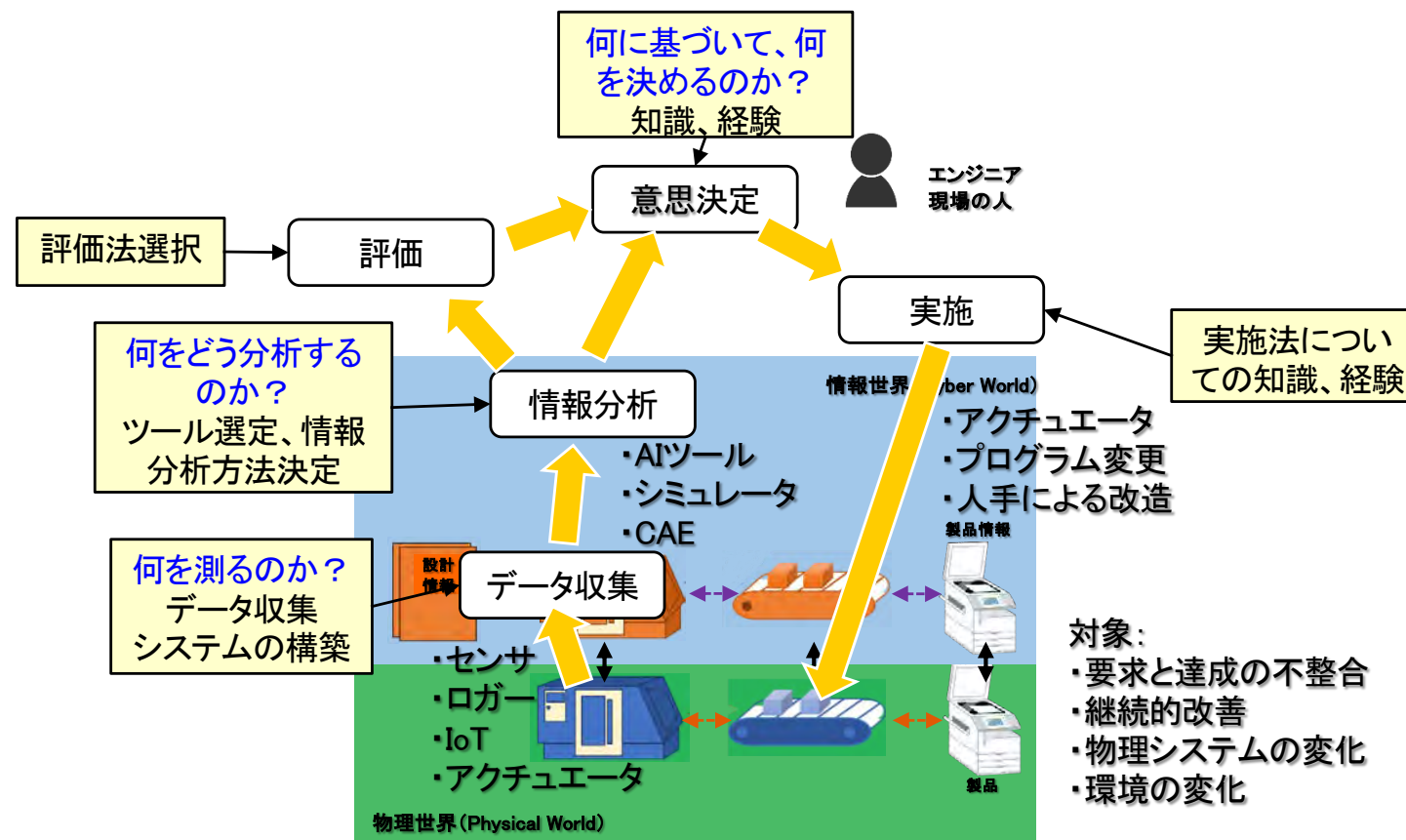
設計 ⇄ 生産 ⇄ 使用 ⇄ メンテ ⇄ 再生産 ⇄ 循環

生産段階を例に取れば



デジタルトリプレット上の エンジニアリングサイクル

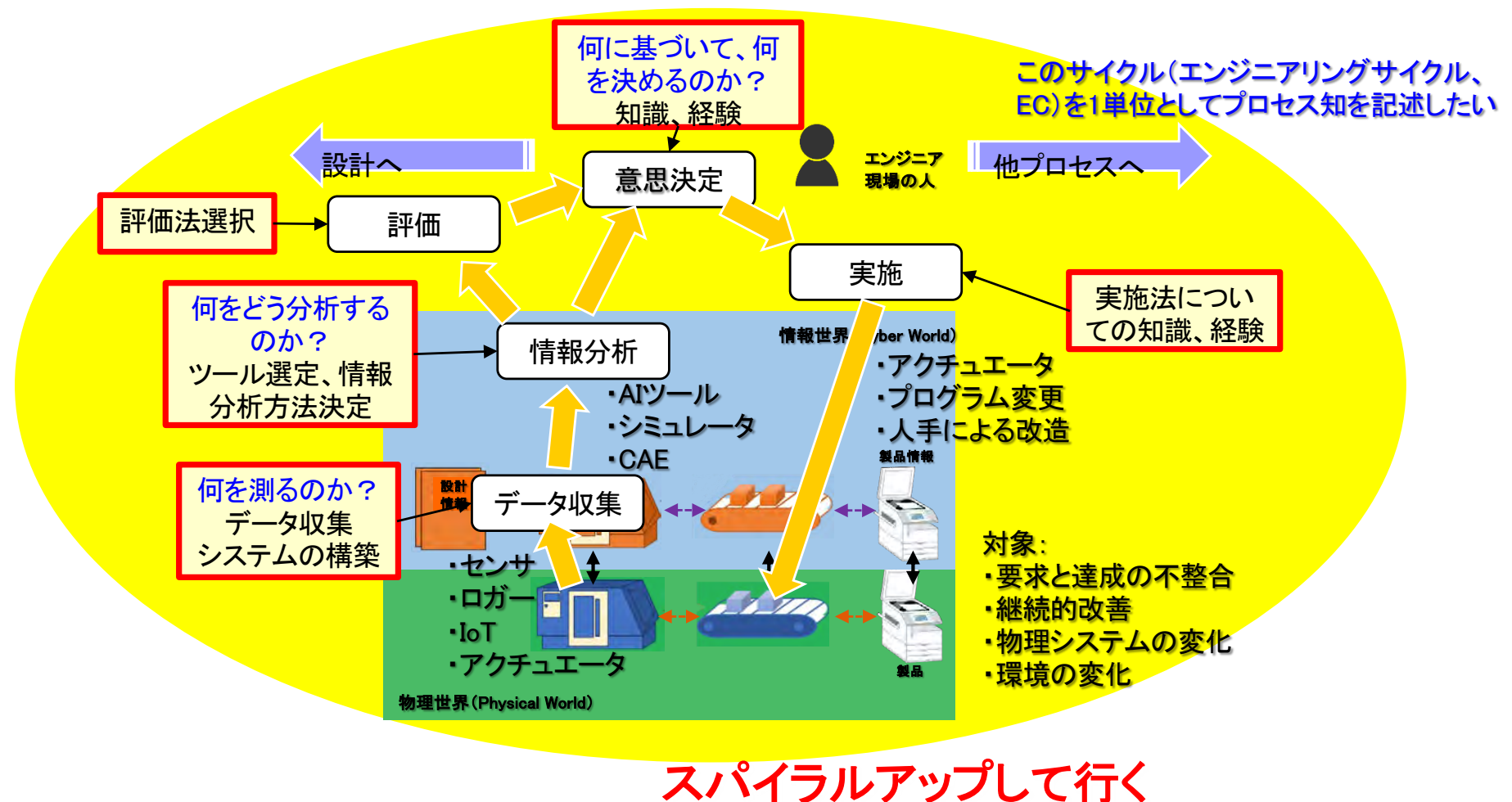
- 技術者、現場の熟練者は、デジタル情報を中心にエンジニアリング活動を行う
- エンジニアリング活動にはD3自体の開発、改善活動を含む
→日本型生産システムは常に向上し続けるシステム



人の知でデータから価値を産み出す

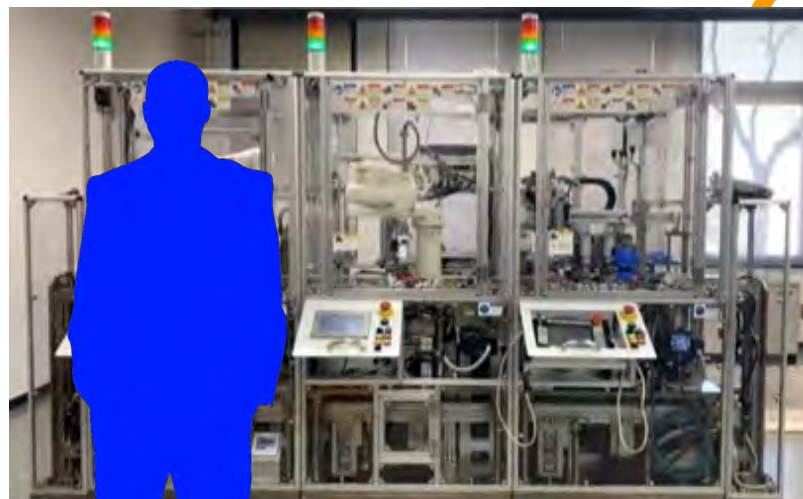
学すべき重要なプロセス

- 創意工夫をデジタルの文脈で、それが例えば自動化、カイゼン



何を支援したいのか？

通常生産時:
極力**自動化**



ライン上の
作業者 **CPPS**

設計
立ち上げ
メンテナンス改
善、...

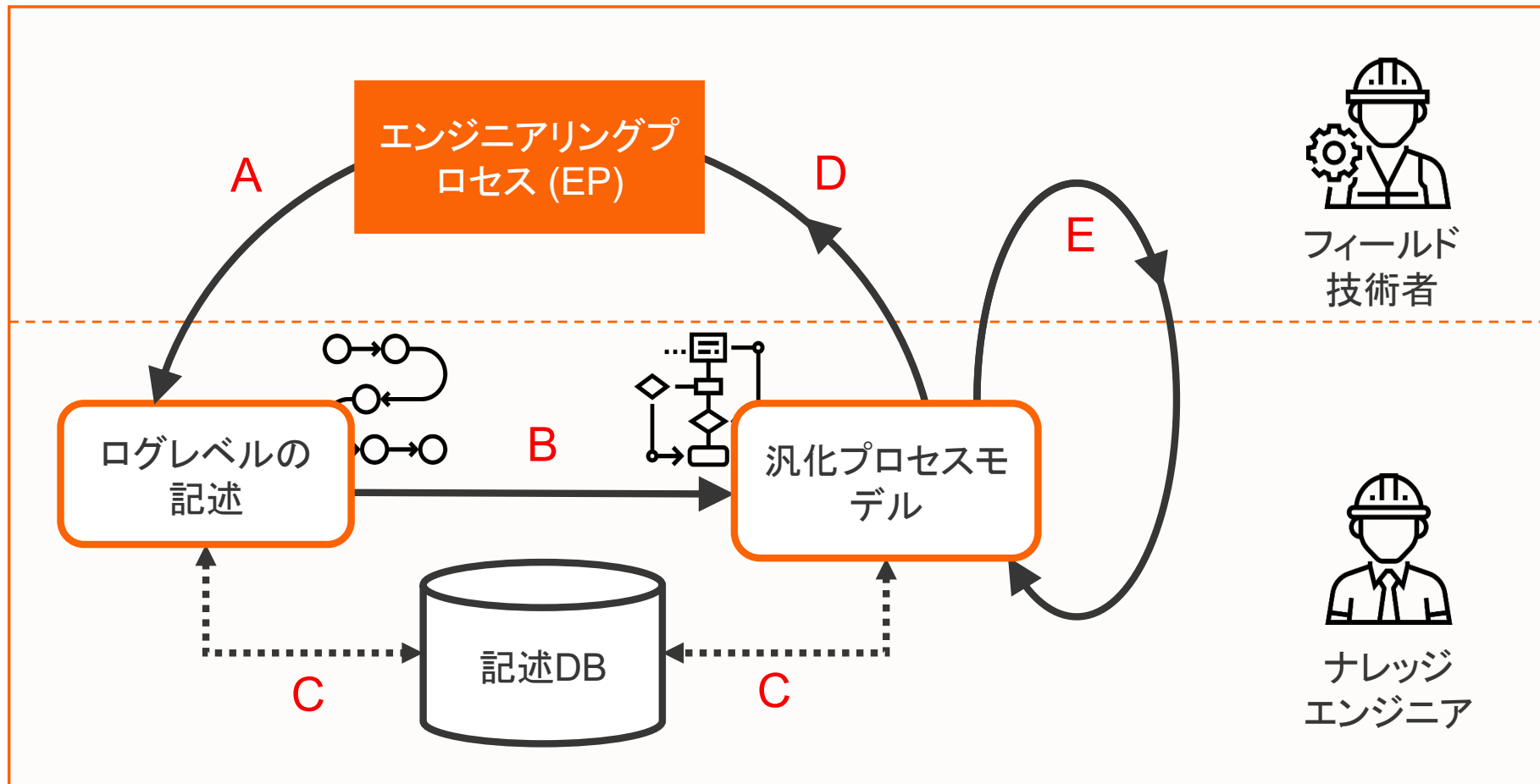
技術者が必要



これを支援するためには、物理世界の知識と**問題解決**
の方法(知的活動世界の知識)が必要

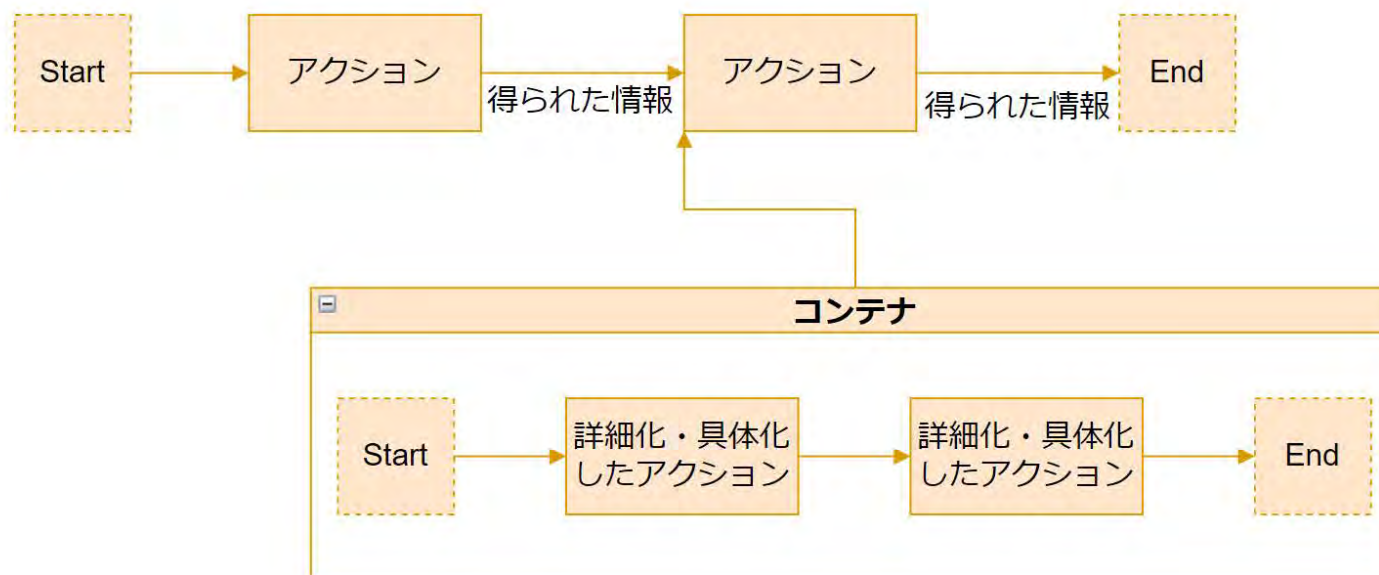
本研究が目指すD3型エンジニアリング支援の 枠組み

11



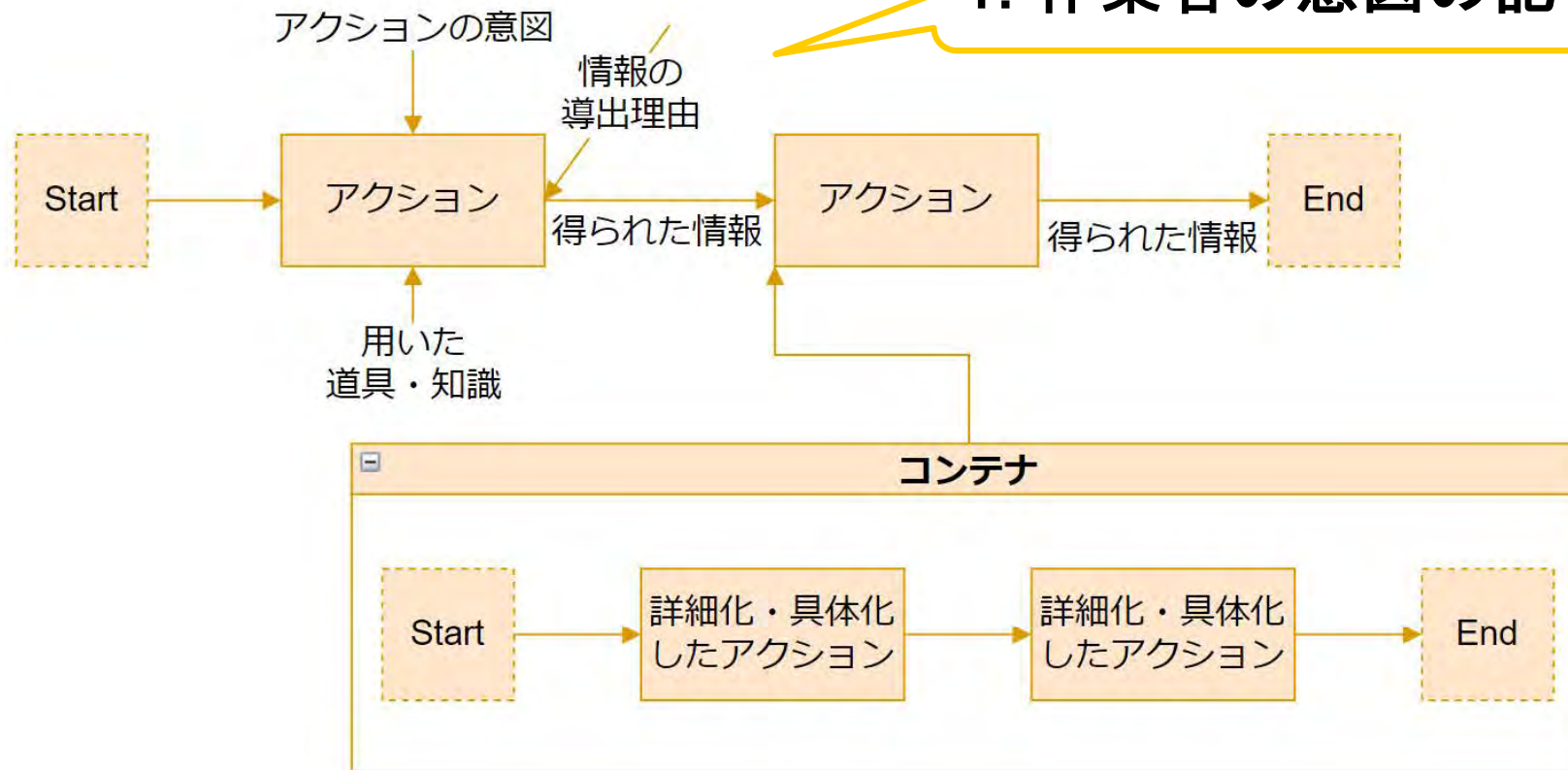
PD3 (Process Modeling Language for D3)

- IDEF-0を拡張
- プロセスを個々の行為 (アクション) の連鎖として記述する
- 「コンテナ」ノードを用いて, プロセスを階層的に記述する



人のプロセス知を抽出するための PD3の2つの特徴

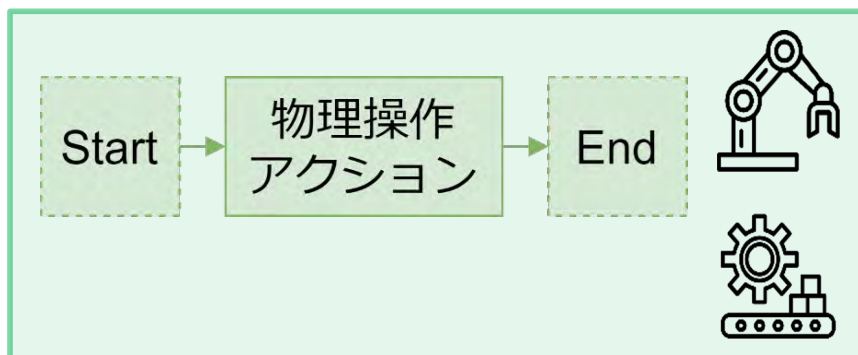
1. 作業者の意図の記号的記述



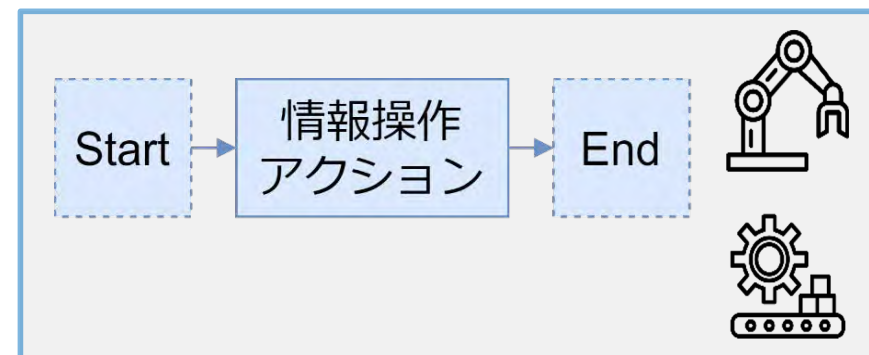
人のプロセス知を抽出するための PD3の2つの特徴

2. D3の3つの世界に対応づけて、アクションを3つに分けて記述

知的活動世界



物理世界



サイバー世界

Learning Factory [Abele et al. 2017]

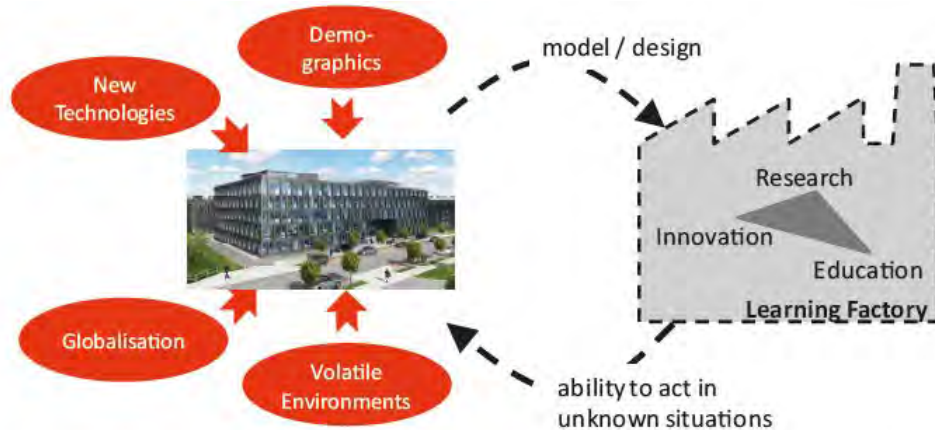


Fig. 2. The learning factory as a model of a real factory—incorporating the three poles of the “knowledge triangle” [11].

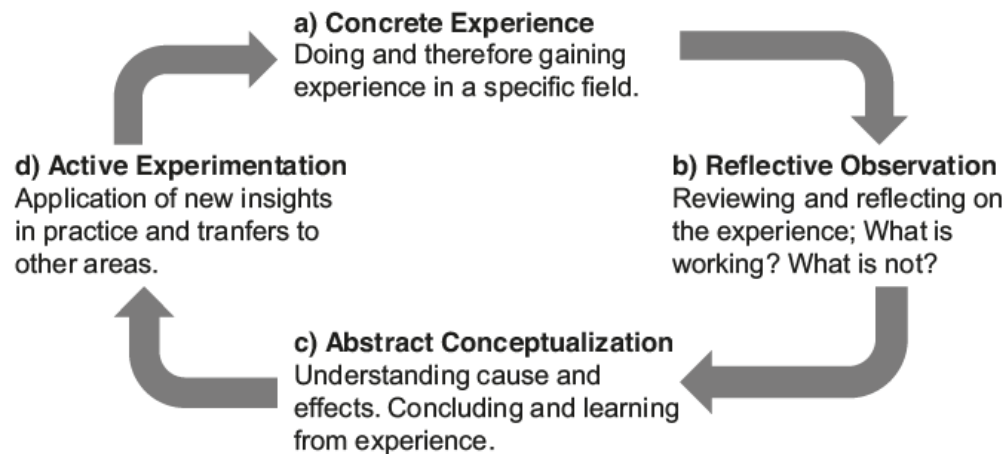


Fig. 6. Kolb's experiential learning cycle [181].

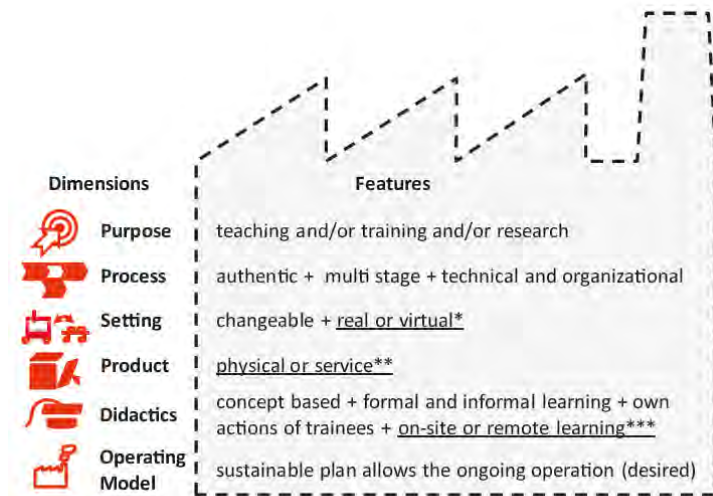


Fig. 9. Key characteristics of learning factories.



Fig. 11. The learning factory CiP at TU Darmstadt [238].

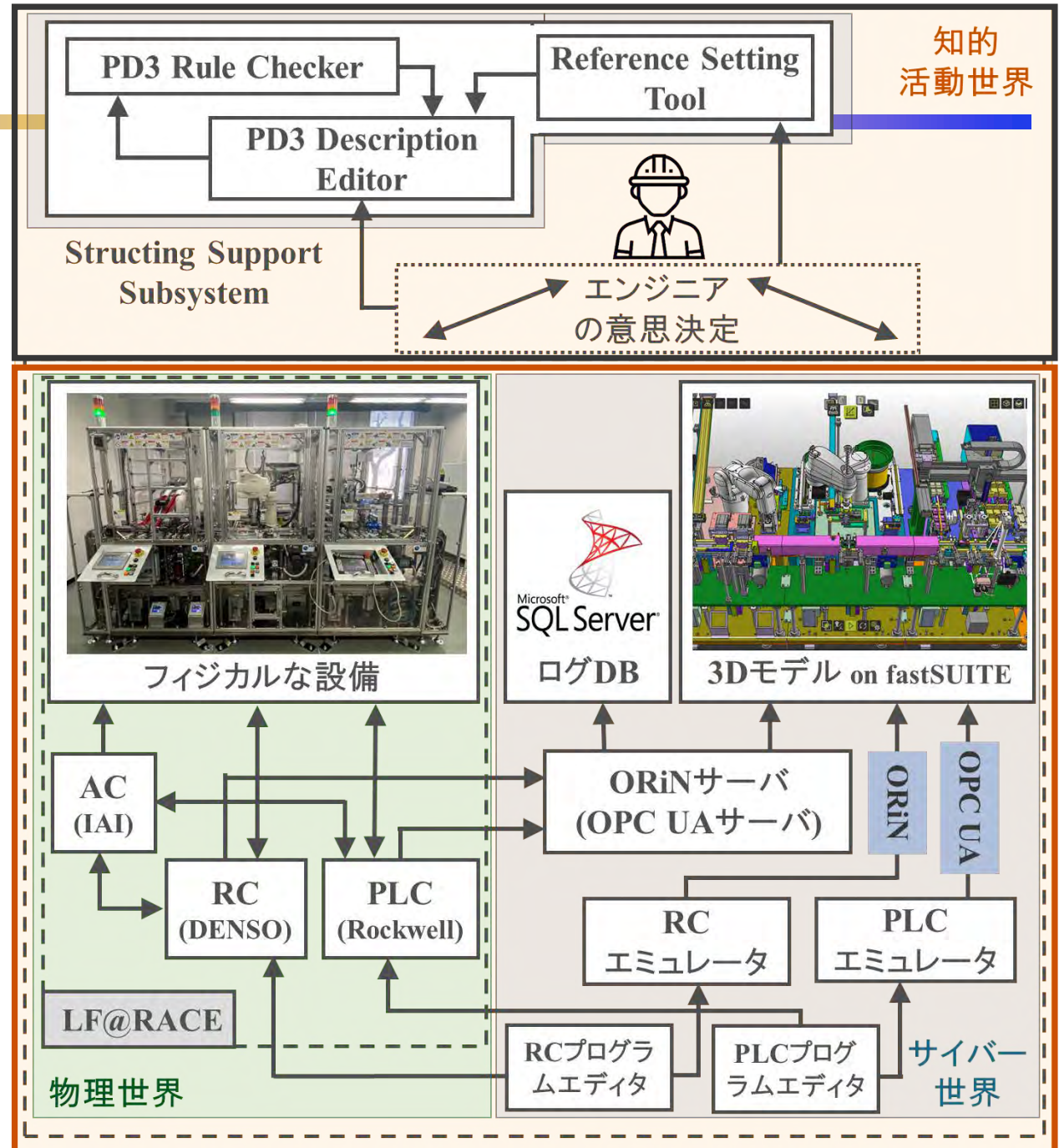
Learning Factory at 人工物工学研究センター



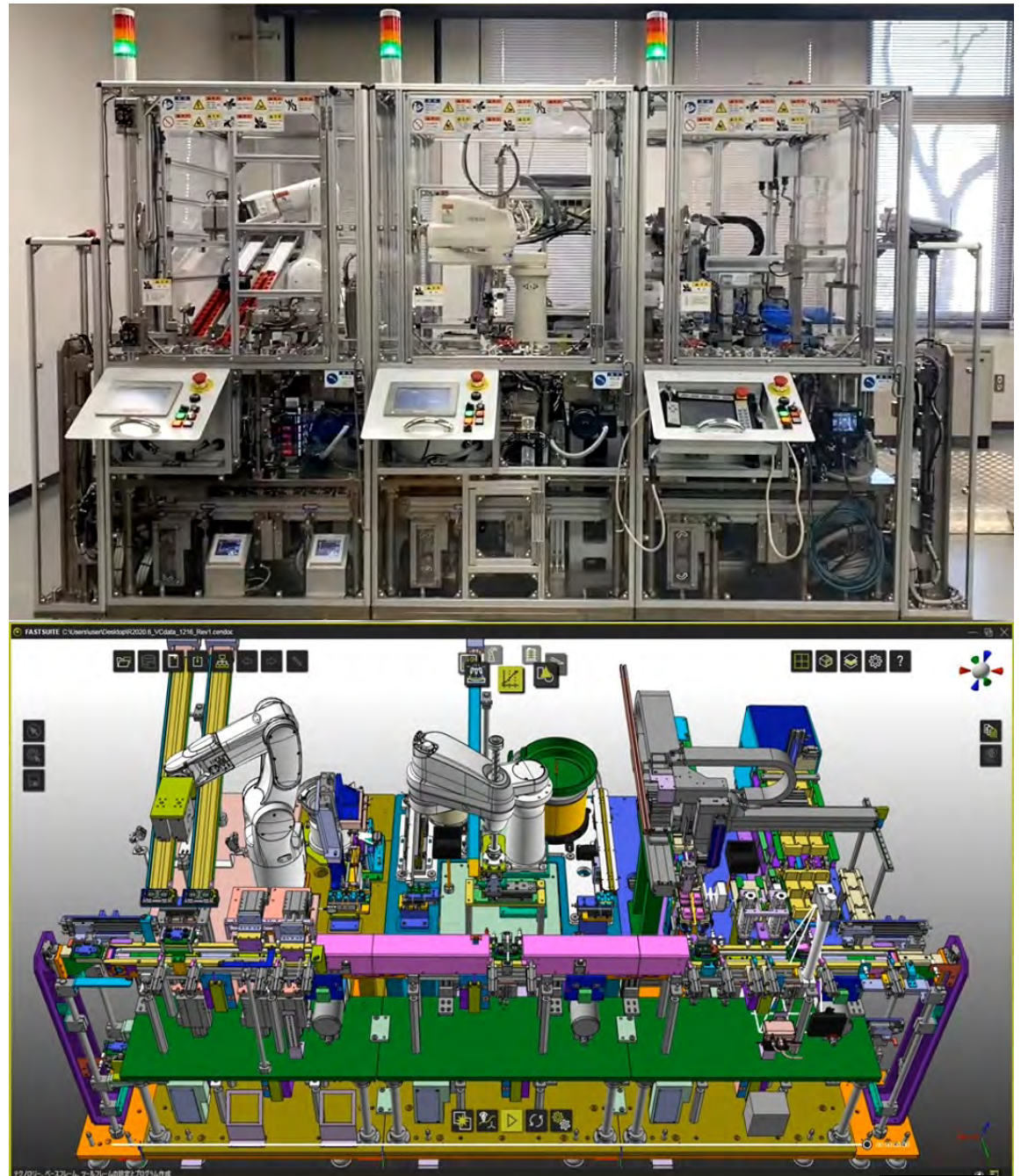
完成品のレゴカー

構築したD3LF@RACE

17

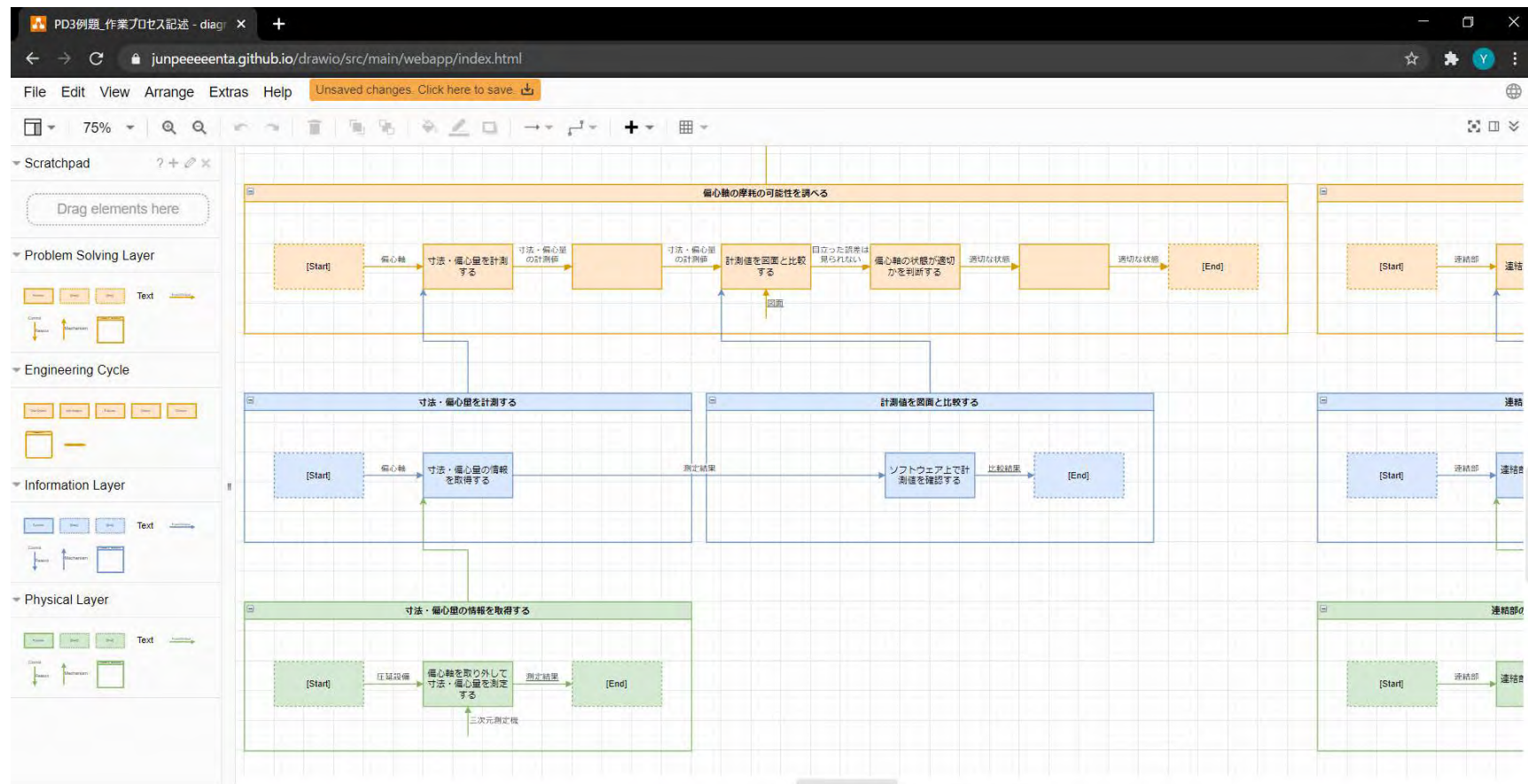


リアルタイムに連
動して動くD2



PD3 Description Editor

- PD3による意思決定プロセスの記述を支援するツール
 - mxGraphというJavaScriptの作図ライブラリをベースに実装した

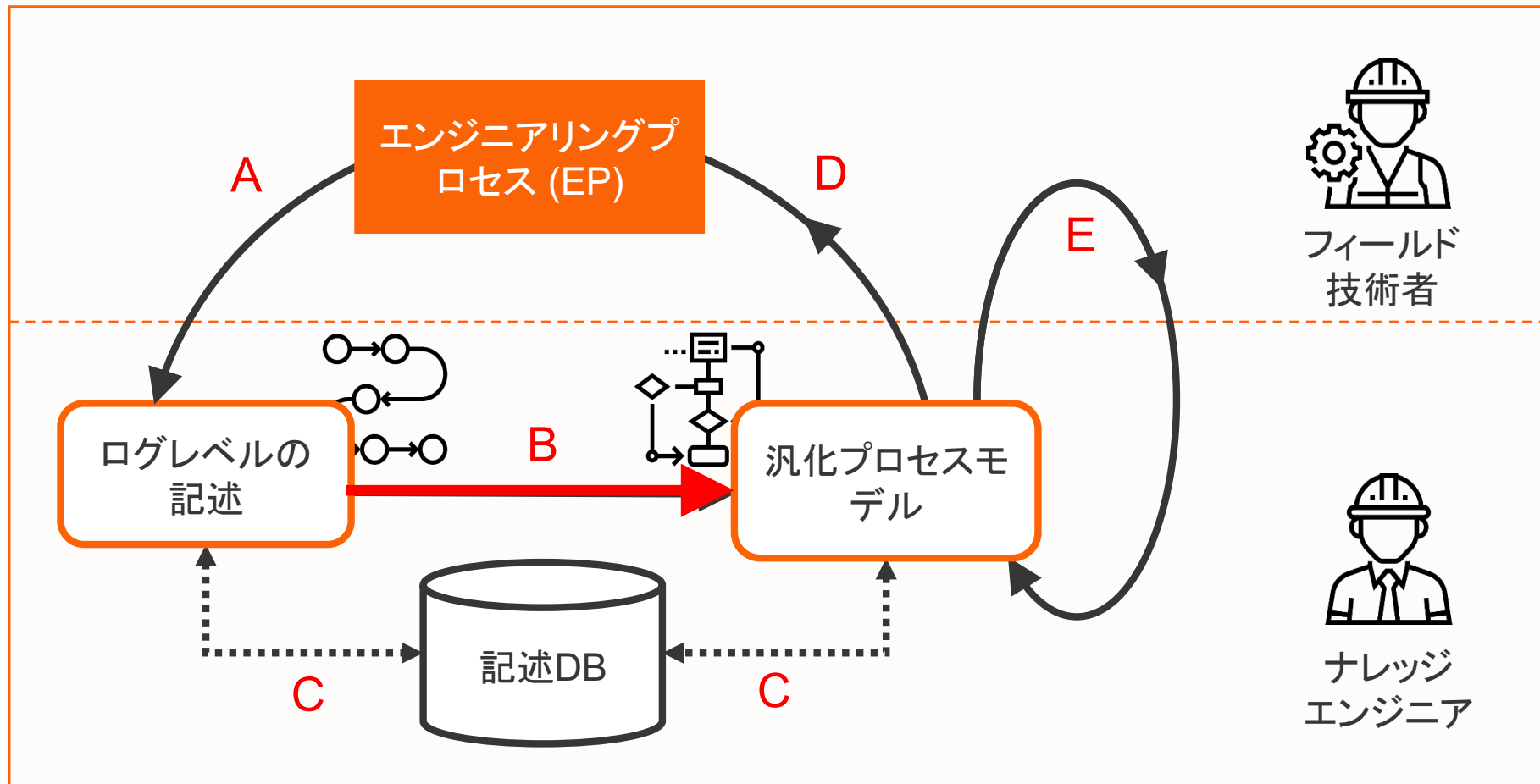


典型的な使い方

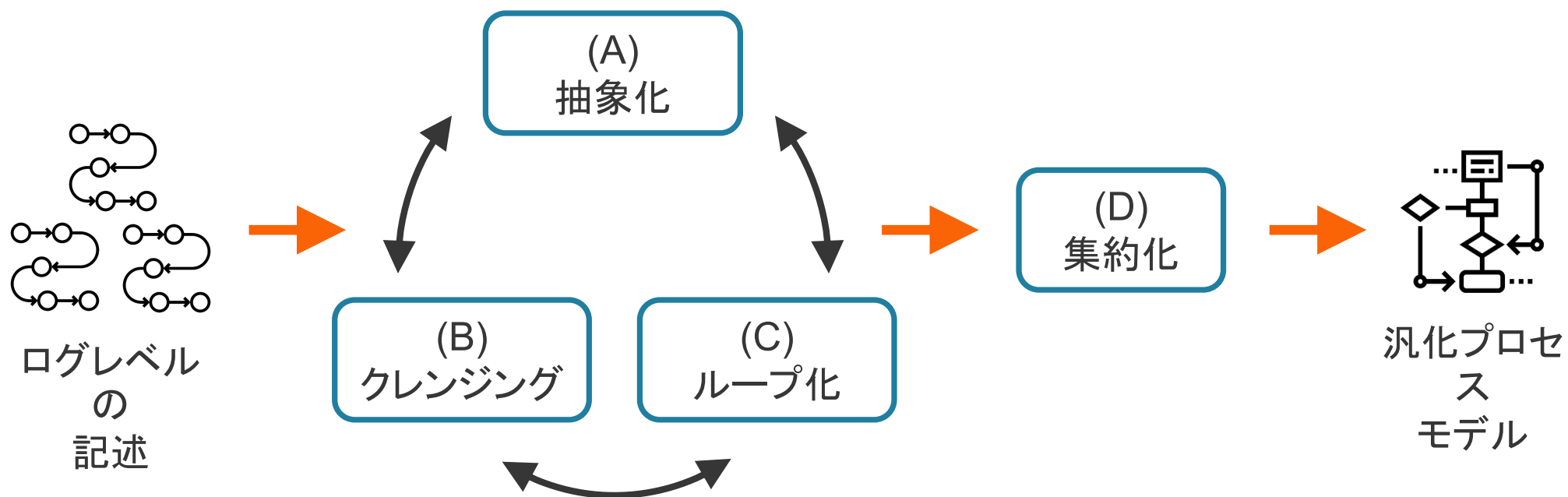
- 教育モード(不具合)を仕込んでおく or 単純に正常状態で動かし、生産性を向上させる
- 1. LFの状態を確認する(実物、ログデータ、3Dシミュレータのオンラインモード)
- 2. 問題を発見し、解決策を考える
- 3. 解決策の検討(3Dシミュレータのオフラインモード)
- 4. 解決策の決定、実施(PLCのプログラム変更)(未実施)
- 以上のプロセスを全てPD3で記録して、自己点検、エキスパートとの比較、マニュアル化...

本研究が目指すD3型エンジニアリング支援の 枠組み

21

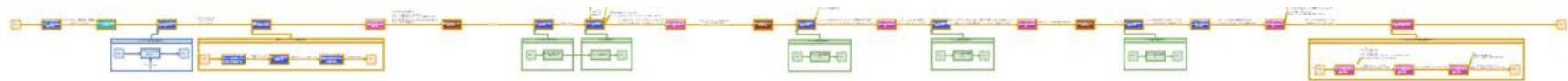


汎化プロセスモデルの作成手順



熟練者4名のログレベルの記述

Expert A



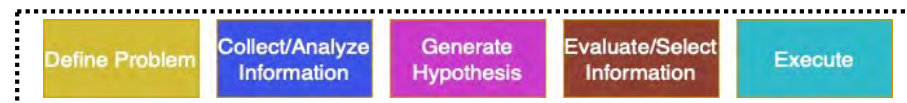
Expert B



Expert C

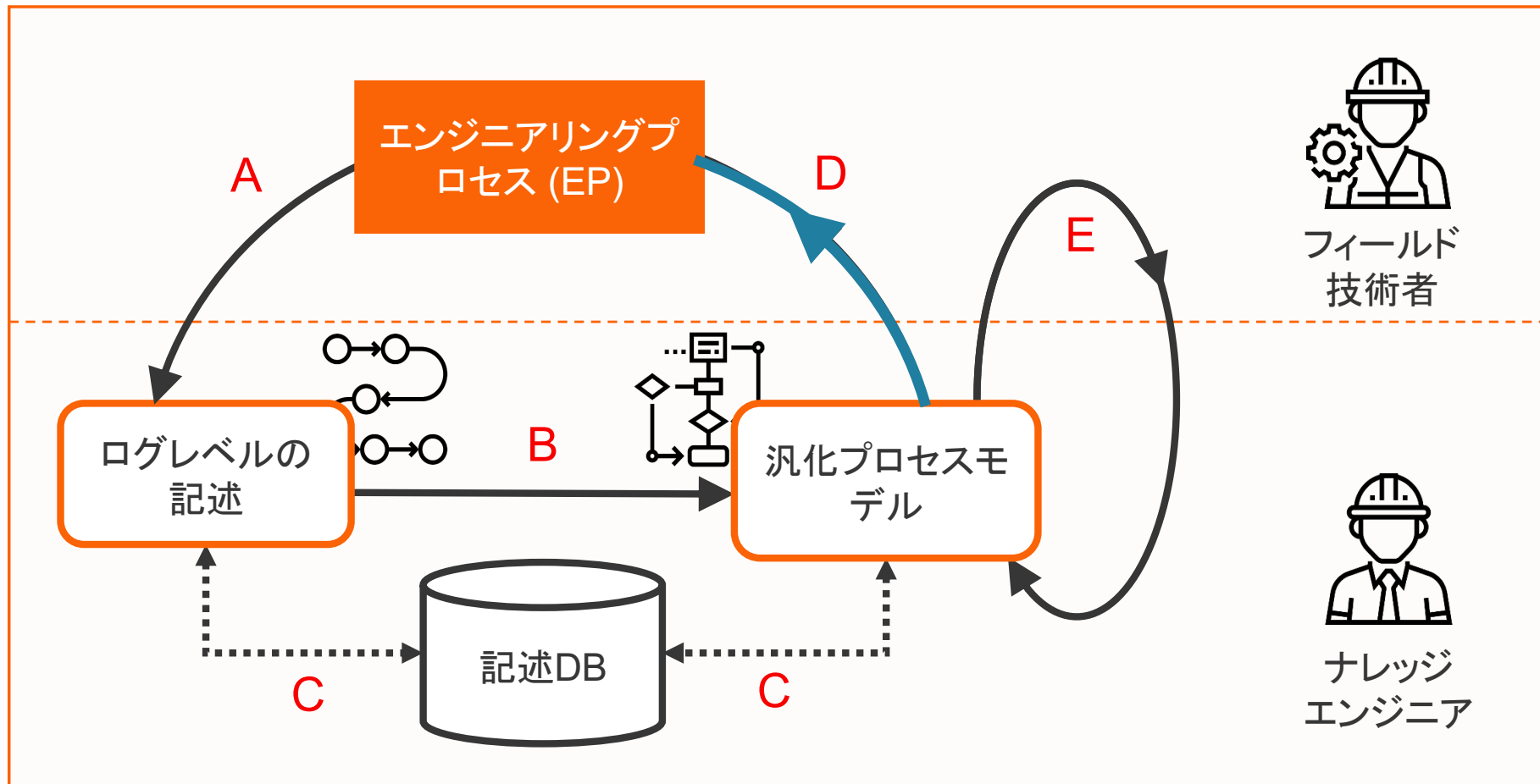


Expert D

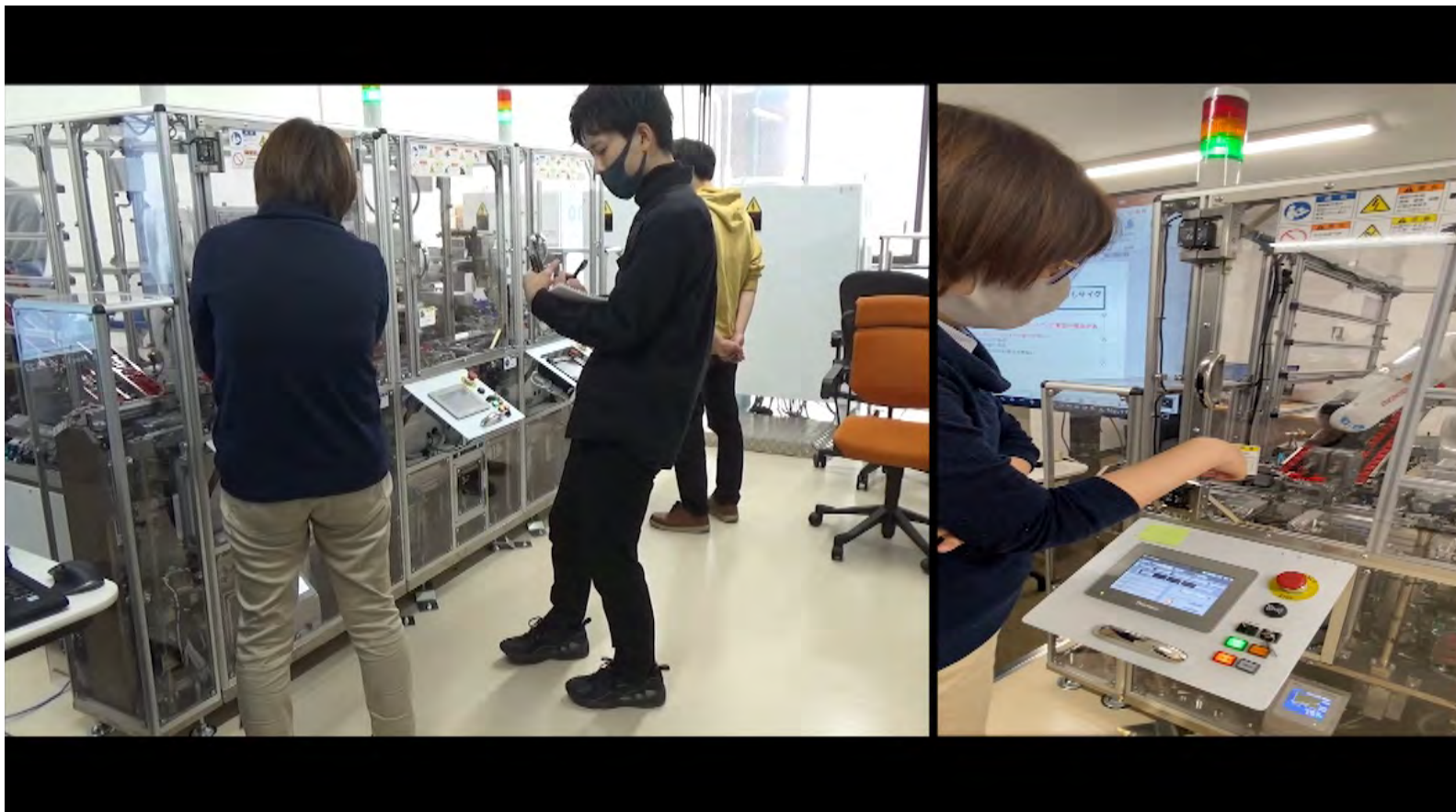


本研究が目指すD3型エンジニアリング支援の 枠組み

25



実験の様子



実験結果

初級者		遅延原因を発見できたかどうか		導出した改善案の総数	いずれかの熟練者が導出した案と重複した案の数 (割合)
		原因①	原因②		
対象群	a	×	×	7	1 (14%)
	b	×	×	9	3 (33%)
学習群	c	○	○	10	7 (70%)
	d	○	○	12	6 (50%)

- 学習群の初級者のみ、遅延原因①, ②を発見できた
- 学習群の初級者の方が、いずれかの熟練者が導出した案と同じ案を導出できた割合が高かった

対シンボルグラウンディング問題

- 熟練者の暗黙知を計算機上に形式知化しようとする試みはこれまでも数多くあった

- シンボルグラウンディング問題



Cyber空間上のデータやソフトウェアの操作としてグラウンディングできた

- 記号とデータの結合は有力なアプローチ
- 自動化できるタスクから逐次自動化(ソフト化、AI化)してゆき、人の判断が必要なタスクと混在させたプロセス記述となる
- これにより、上手くすると、永遠の課題である「文脈」が書けるのではないか？(どういう状況で、どういう分析を行い、どう判断したか)

On going projects

- 自動組立ラインの不具合発見&回復 (NEDO、デンソー)
- 自動組立ラインの生産効率向上 (NEDO、デンソー)
- 金型NCプログラム作成プロセス抽出(別のNEDO)
- プラントの巡回点検のノウハウ抽出(ENEOS)
- 生産工程設計のプロセス抽出(トヨタ社会連携講座)
- 生産システムコンサルティング(三菱電機)
- 生産システムのDX化支援(ダイキン社会連携講座)
- 設計工程のプロセス抽出(荏原製作所)
- ...

Acknowledgement

- 本研究の一部は、NEDO JPNP18002、経産省産学連携デジタルものづくり中核人材育成事業、文科省科学研究費 JP19H02037、東京大学人工物工学研究センター トヨタ自動車社会連携講座、ダイキン工業社会連携講座の補助を受けています

ご清聴ありがとうございました