

# Digital Tripletによるものづくり支援

東京大学 大学院工学系研究科

人工物工学研究センター 価値創成部門

教授 梅田 靖

# 製品およびサービスを含めた

# ライフサイクル次世代ものづくり研究教育拠点

**教育**

人工物工学人材育成

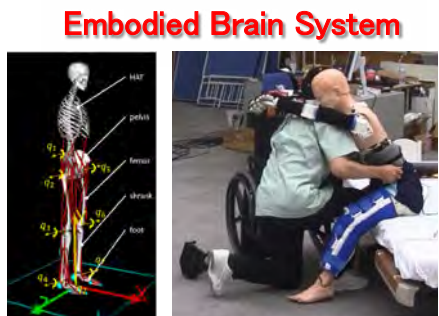
**出口**

**社会実装**

産学協創

現場適用  $\swarrow$   $\nwarrow$  現場の課題に基づく  
問題解決・価値創造

Digital Triplet

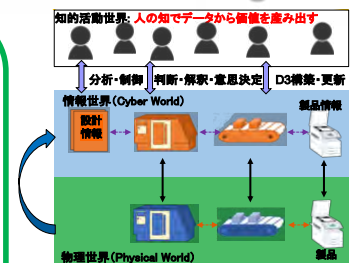


**認知機構**

人と人工物の認知過程及び  
人に資する人工物作り

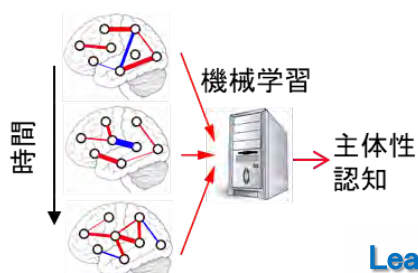
**価値創成**

新しいモノづくり及びモノ・  
サービスエコシステム的设计

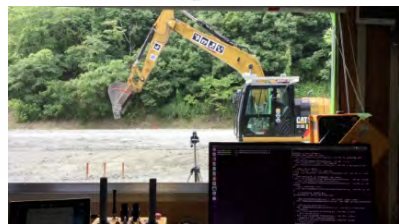


人工物工学研究センター

**学術的体系化**



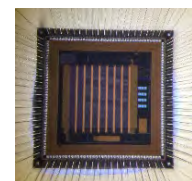
Cognition & Agency



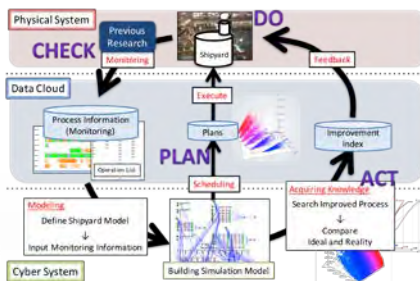
Value Production  
Architecture

**実践知能**

人工知能をはじめとする  
知能化技術の理論と実践の融合



Sensing, Scanning, IoT  
Data Processing & Analysis



適用  $\swarrow$   $\nwarrow$  新たな  
基礎研究

**基礎**

**基礎研究**

新AI, ロボティクス,  
システム論, 等

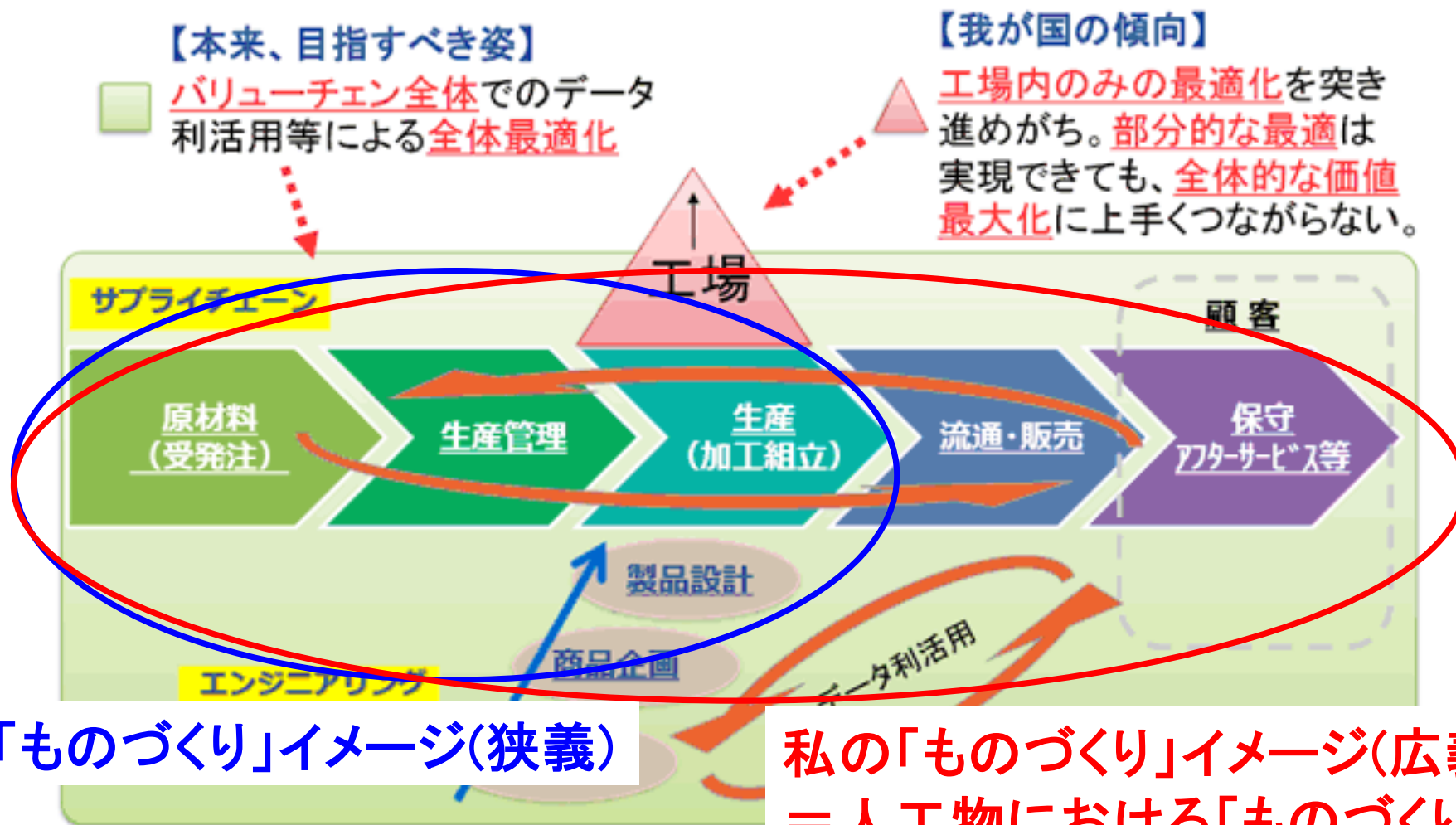
## 価値創成部門

- これからの広義のものづくりの姿を**ビジョン**として提示したい
  - デジタル革命
  - 価値観の変化: 所有価値から文脈価値へ
  - サステナビリティ
  - コロナ
- 三本柱 本講演の主題
  - データから価値を産み出す方法論の構築
  - 製品・サービスシステム＋社会システム
  - 製品ライフサイクル方向への展開

# ものづくりの文脈において、 データから価値を産み出す方法論を

- 低空と地上を繋ぐ
- 地上から低空を使いこなす  
ための方法論を提供したい。
- そのためには、日本の製造業の強みを新しい器(デジタル)に盛り直すことが必要
- この過程を通じて、日本の製造業の強みを形式知化、体系化することができるのではないか？

# ものづくり

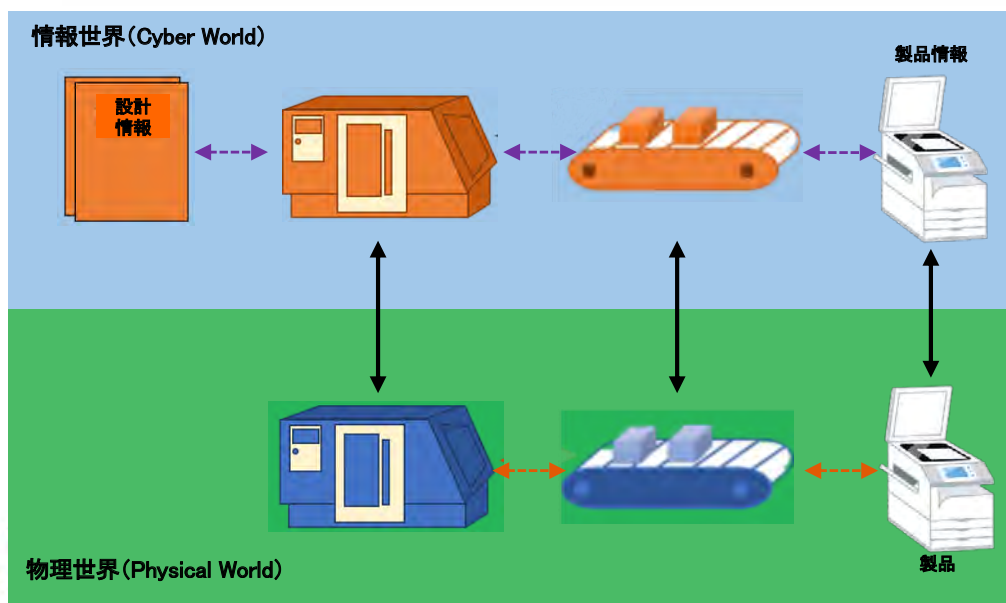


私の「ものづくり」イメージ(狭義)

私の「ものづくり」イメージ(広義)  
 =人工物における「ものづくり」

# Digital Twin

- **Digital Twin**: Industrie4.0の柱の一つであり、Cyber Physical System (CPS)の一形態。サイバー世界に、実世界の1対1のモデルを構築
- [典型的な利用方法] 上級エンジニアが生産システム開発時に、サイバー世界上で様々な状況をシミュレートし、それに基づき、システム設計、運用条件を決定



## 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、先進企業は低空で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 Edgecross

## アプローチ

- 「高品質品の大量生産」に代わるものづくり戦略が必要
  - 日本の製造業の強みを新しい器 (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
- 生産技術者や作業者がデジタルを使いこなす
  - 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



## Industrie4.0と日本型ものづくり

- 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)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

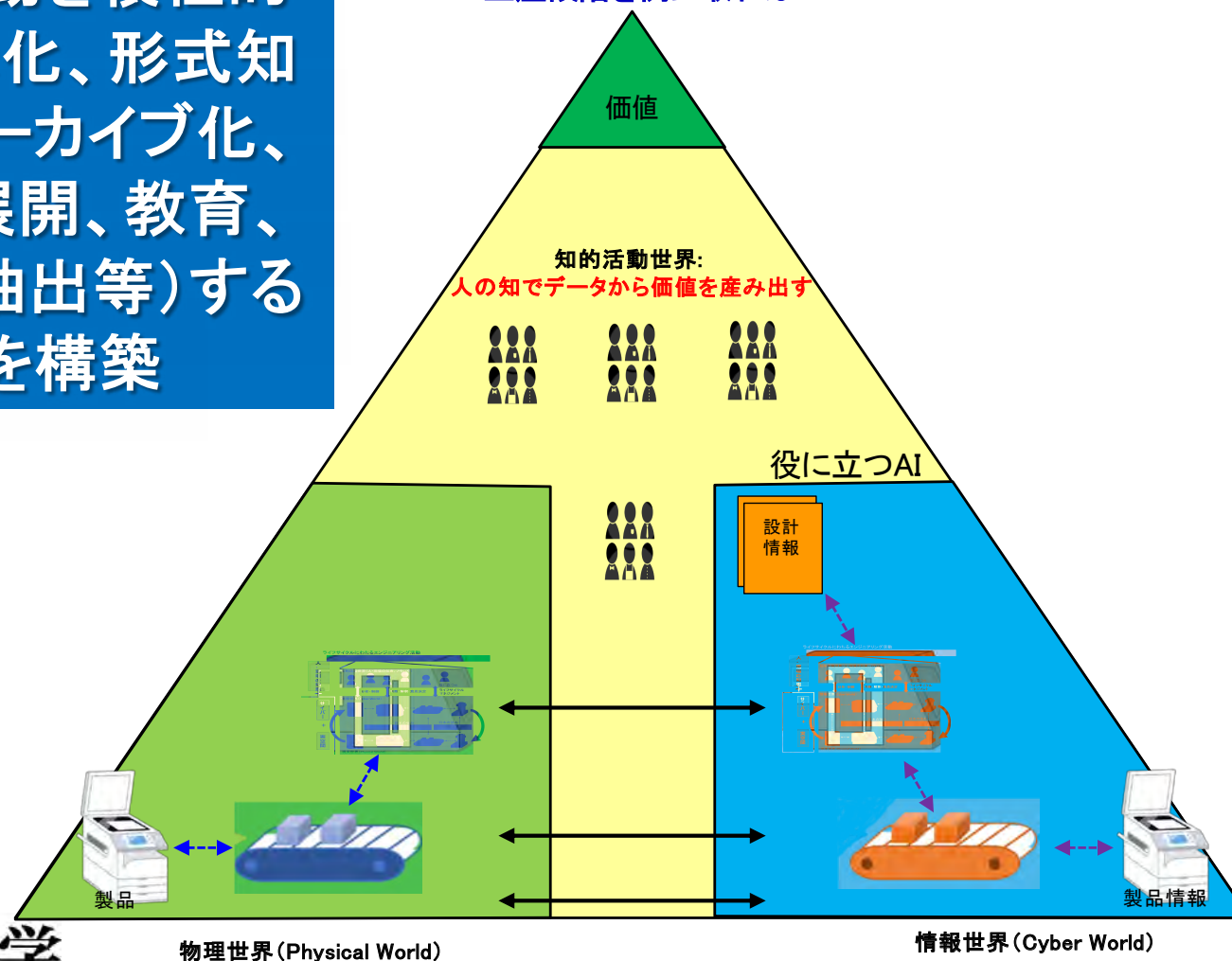
# デジタル・トリプレット(D3)

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

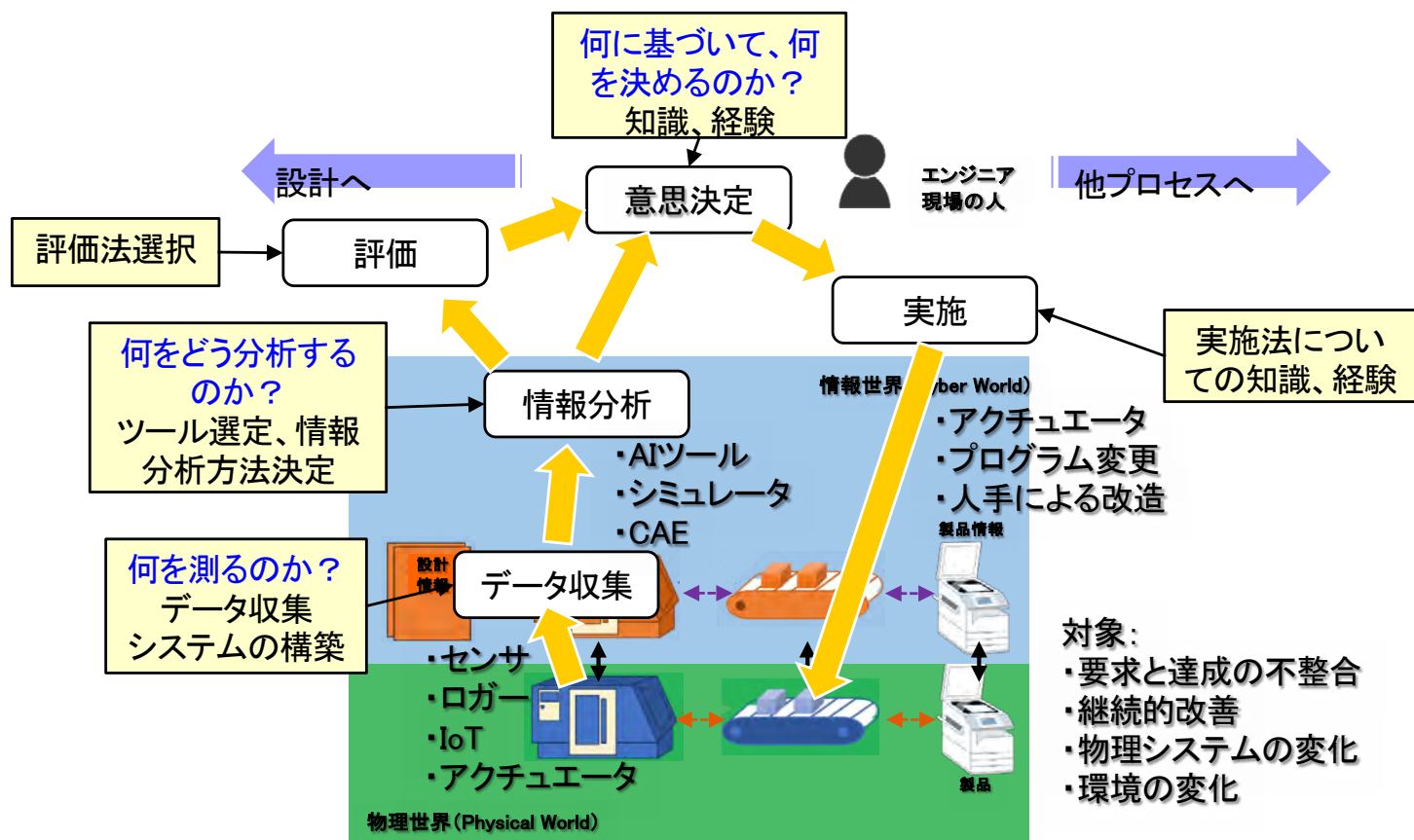
生産段階を例に取れば

人の知的活動を積極的に活用(明示化、形式知化、蓄積・アーカイブ化、再利用、横展開、教育、汎化知識の抽出等)する仕組みを構築



# デジタルトリプレット上での 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



## デジタル・トリプレットの目標

- デジタル革命の中にあって、強い、勝てる日本の製造業を実現する技術的手段を提供する



- デジタルを活用して価値を産み出すものづくりのショーケースを沢山示したい
  - デジタル・トリプレットの枠組みで大概のケースは表現できるはず
  - 誰もが望めばデジタル・トリプレットを構築できるような仕組み
    - » 人材育成
    - » システム提供
    - » ショーケース、ビルディングブロックのアーカイブ化、と様々なレベル(部署レベル、社内レベル、ビジネスベース、業界レベル、公開、・・・)での交換 (cf. つながる工場)
    - » 要素技術開発

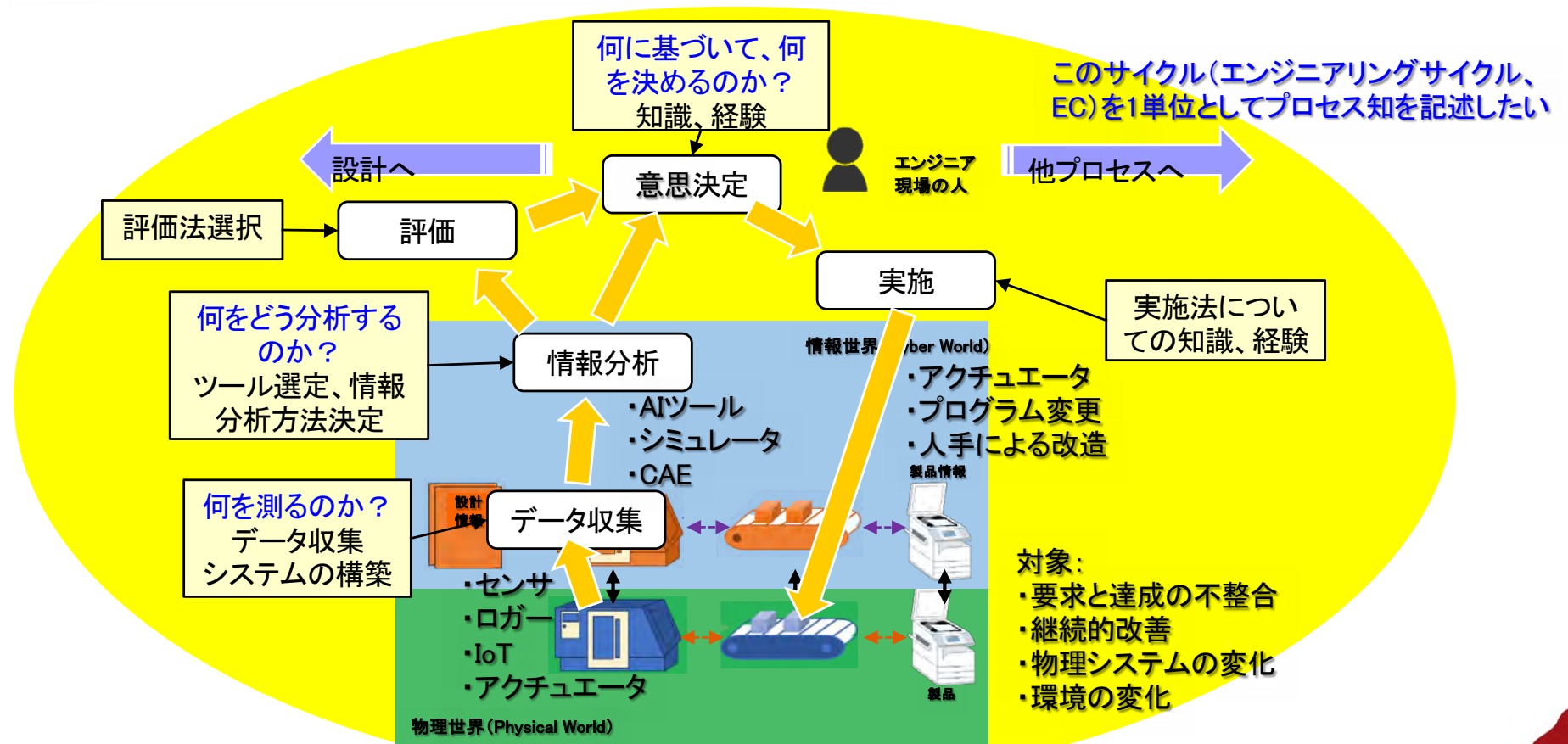
- 先鞭として、プロセス支援型デジタル・トリプレットシステムを構築

# プロセス支援型デジタル・トリプレットシステム

- デジタル・トリプレットが、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
  - ➡ 人間中心のデジタル時代のものづくり
  - 技術者の問題解決プロセスに注目

# デジタルトリプレット上での エンジニアリングサイクル

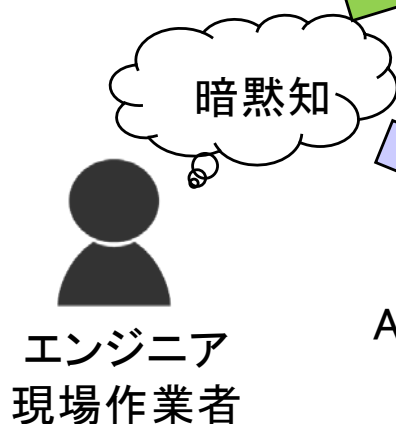
- 技術者、現場の熟練者は、デジタル情報を中心にエンジニアリング活動を行う
- エンジニアリング活動にはD3自体の開発、改善活動を含む  
→日本型生産システムは常に向上し続けるシステム



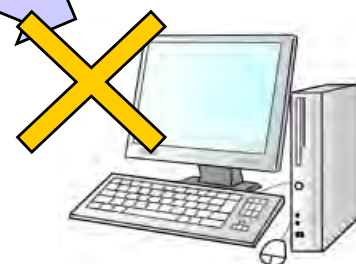
## ここで考えている作業支援

- ヒトの熟練知・暗黙知を、実作業の中でインクリメンタルな形でサイバー化して行く

デジタルツイン+プロセス知を  
「エンジニアリングサイクル」として  
実装 on DT

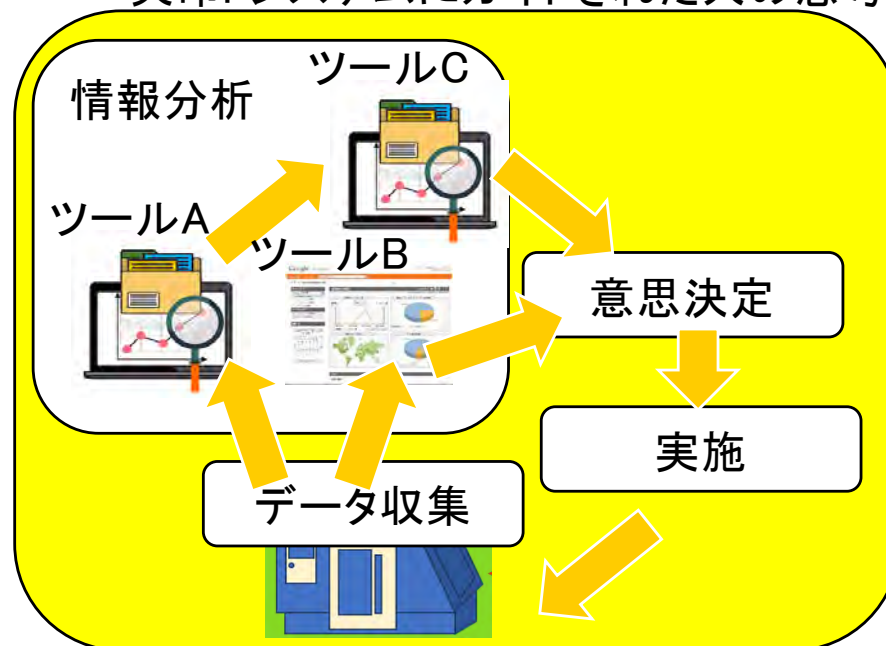


従来の  
AIアプローチ



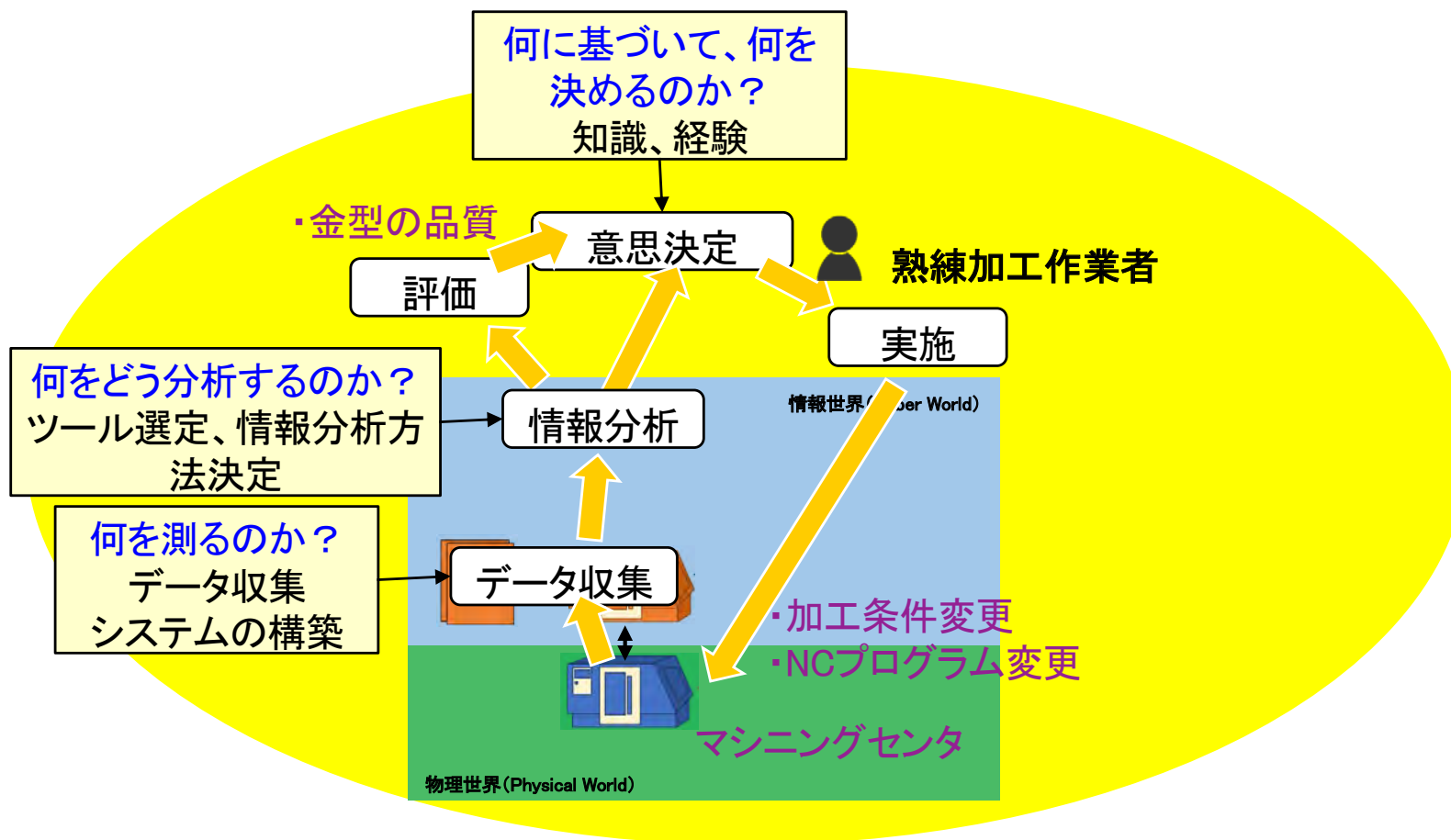
作業をそのままAIツール化

矢印: システムにガイドされた人の思考



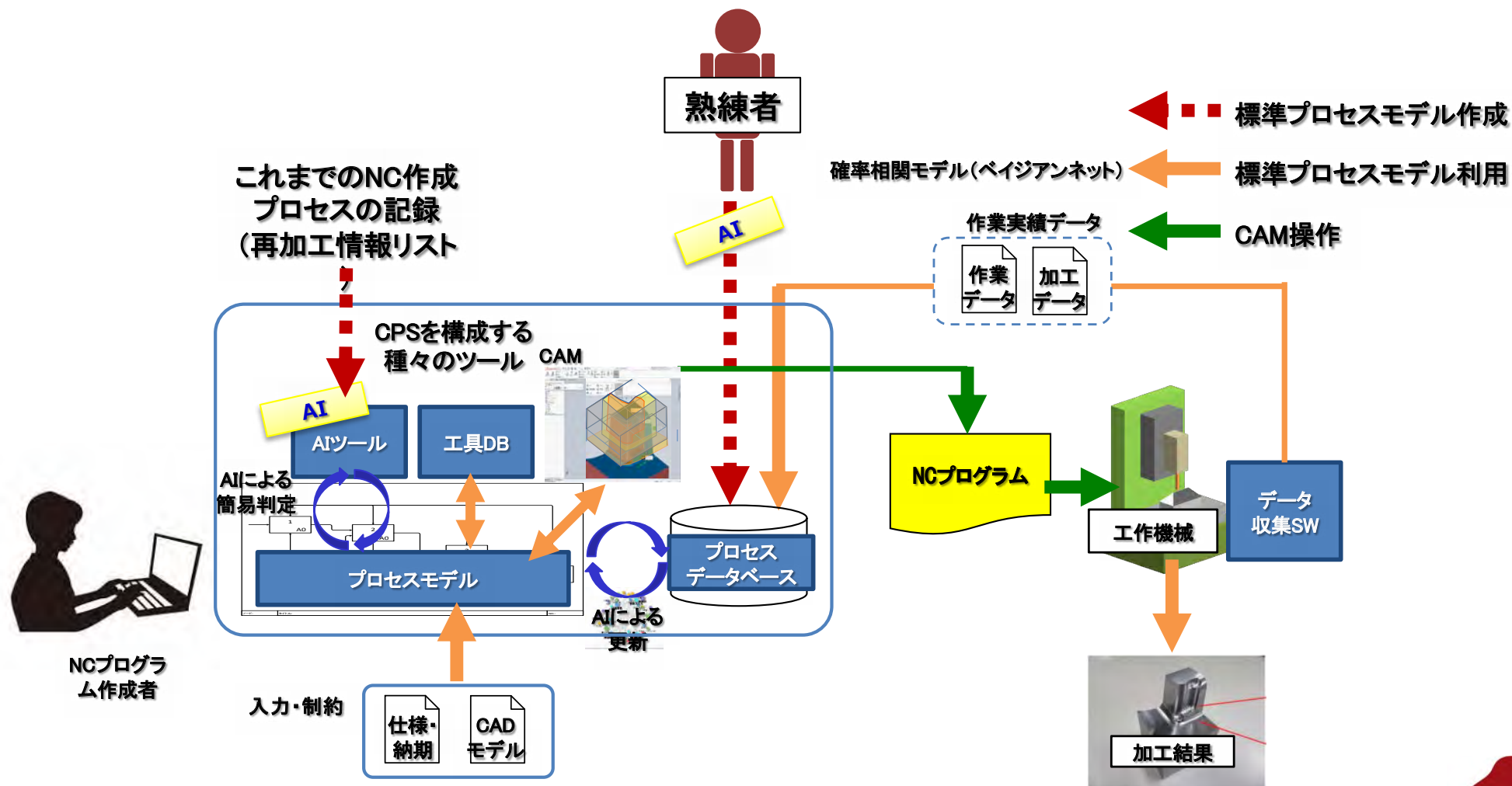
意思決定のメカニズムを  
踏まえてサイバー化すること  
で人の課題解決・価値創出  
のプロセスを支援

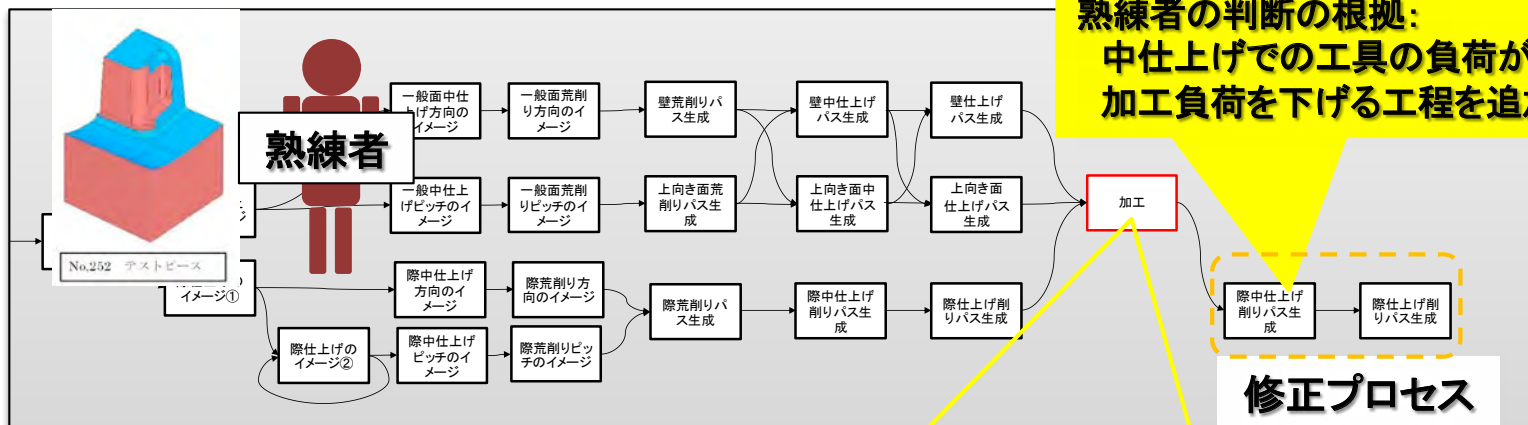
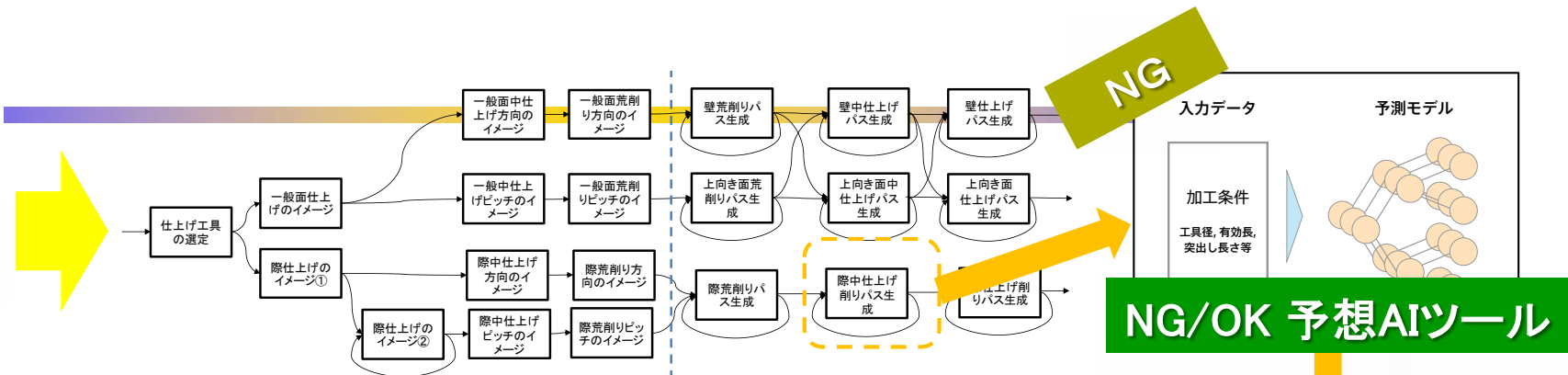
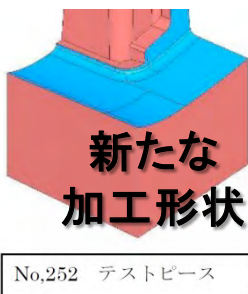
# 例：金型加工の場合 ～ 熟練作業員からの知識抽出





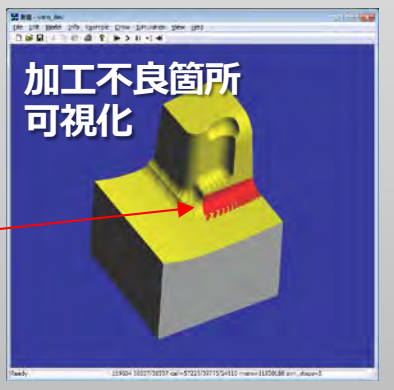
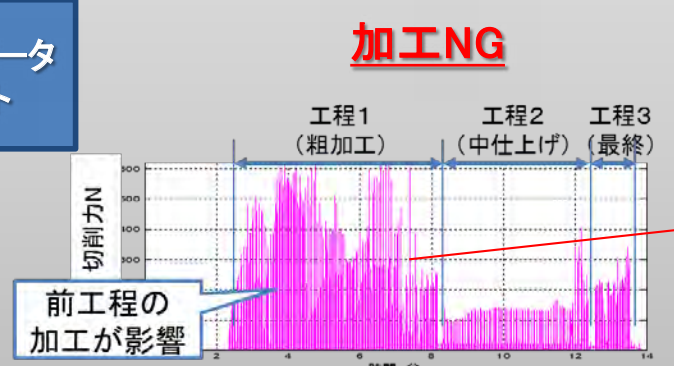
# 射出成形用金型製作プロセス支援 デジタル・トリプレットシステム



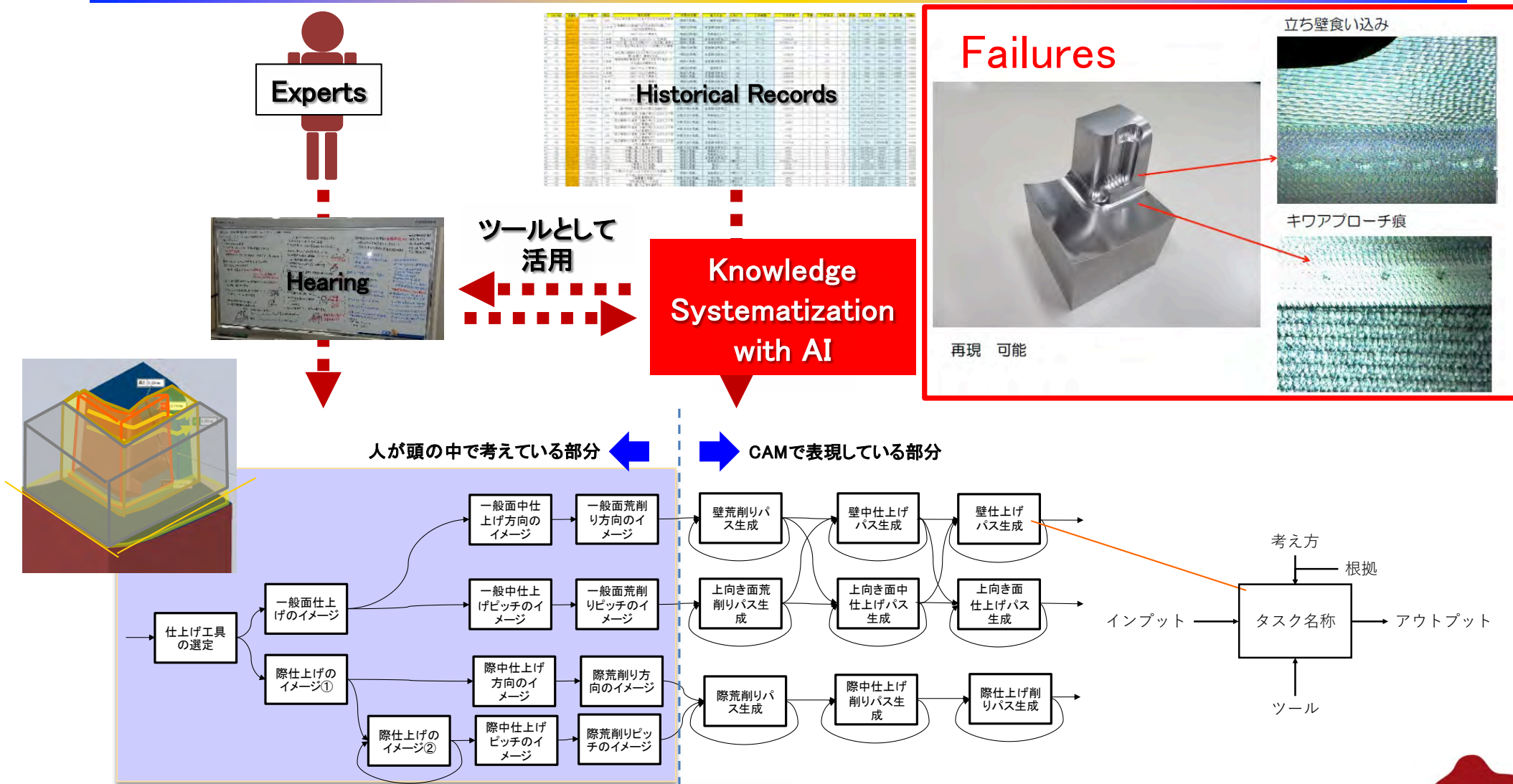


類似する形状のプロセスデータを参照

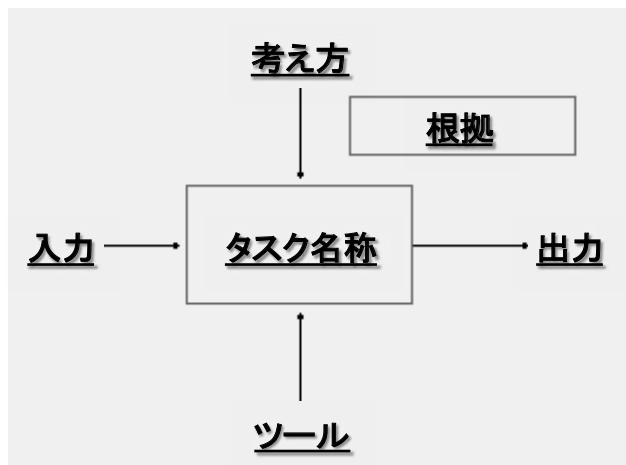
作業実績データ  
収集ソフト



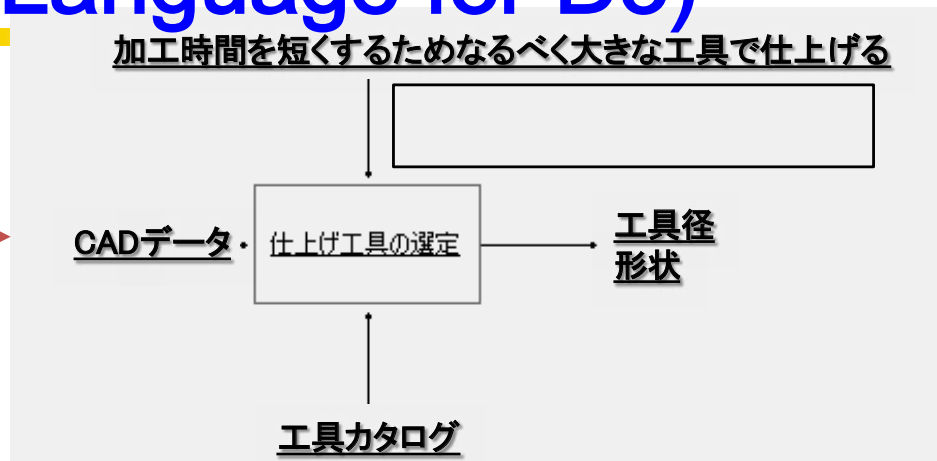
# 射出成形金型製作プロセスにおけるエンジニアリングサイクルの抽出



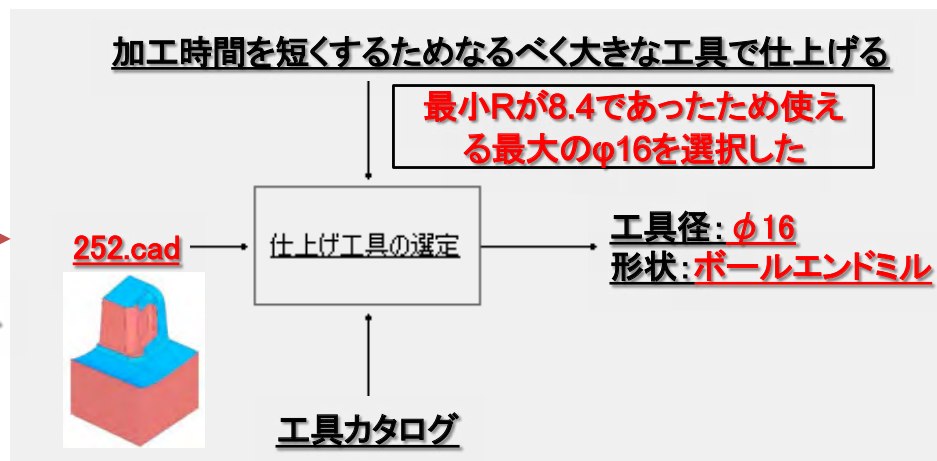
## (Process Modeling Language for D3)



標準プロセス



実行



入力・出力: データを指す。あるタスクの出力が他のタスクの入力になりプロセスネットワークを構成。

例: CADデータ、センサデータなど

ツール: タスクを行う上で使うもの。

例: CAMソフト、マシニングセンタなど

考え方: タスクにおける出力の決定をどのように考えて行うべきか。

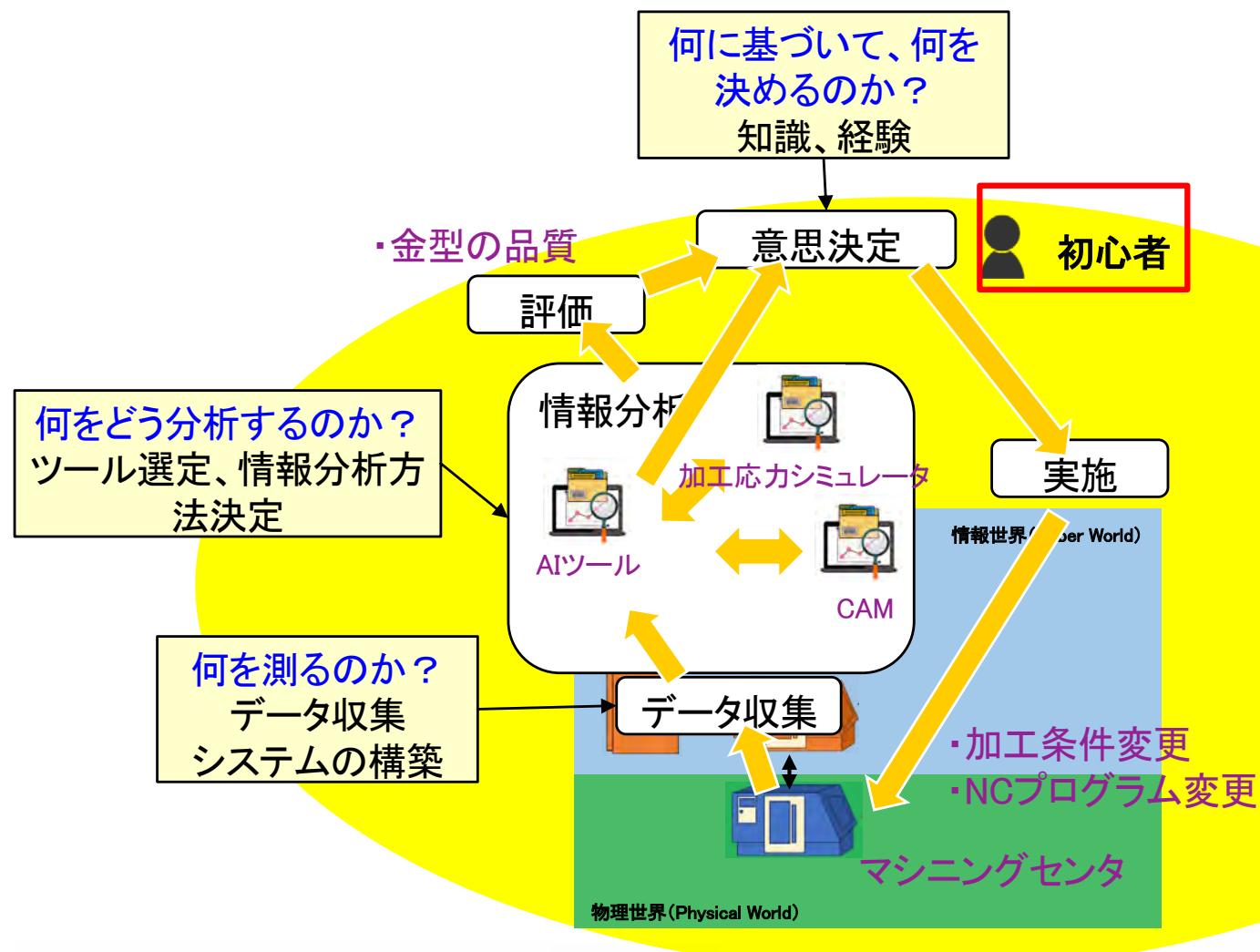
例: 工具摩耗を抑えるようにパスを決定

根拠: 出力の決定を行った理由。

例: 工具摩耗を抑えるように、刃のあたる個所が広く分布するようにした

実作業プロセス

## 例：金型加工の場合 ～初心者への支援



- 初心者が作成されたECに支援されて加工を行うことにより、厳しい徒弟経験を経なくても、そこそこの加工ができるようになる



# 非熟練者による試行

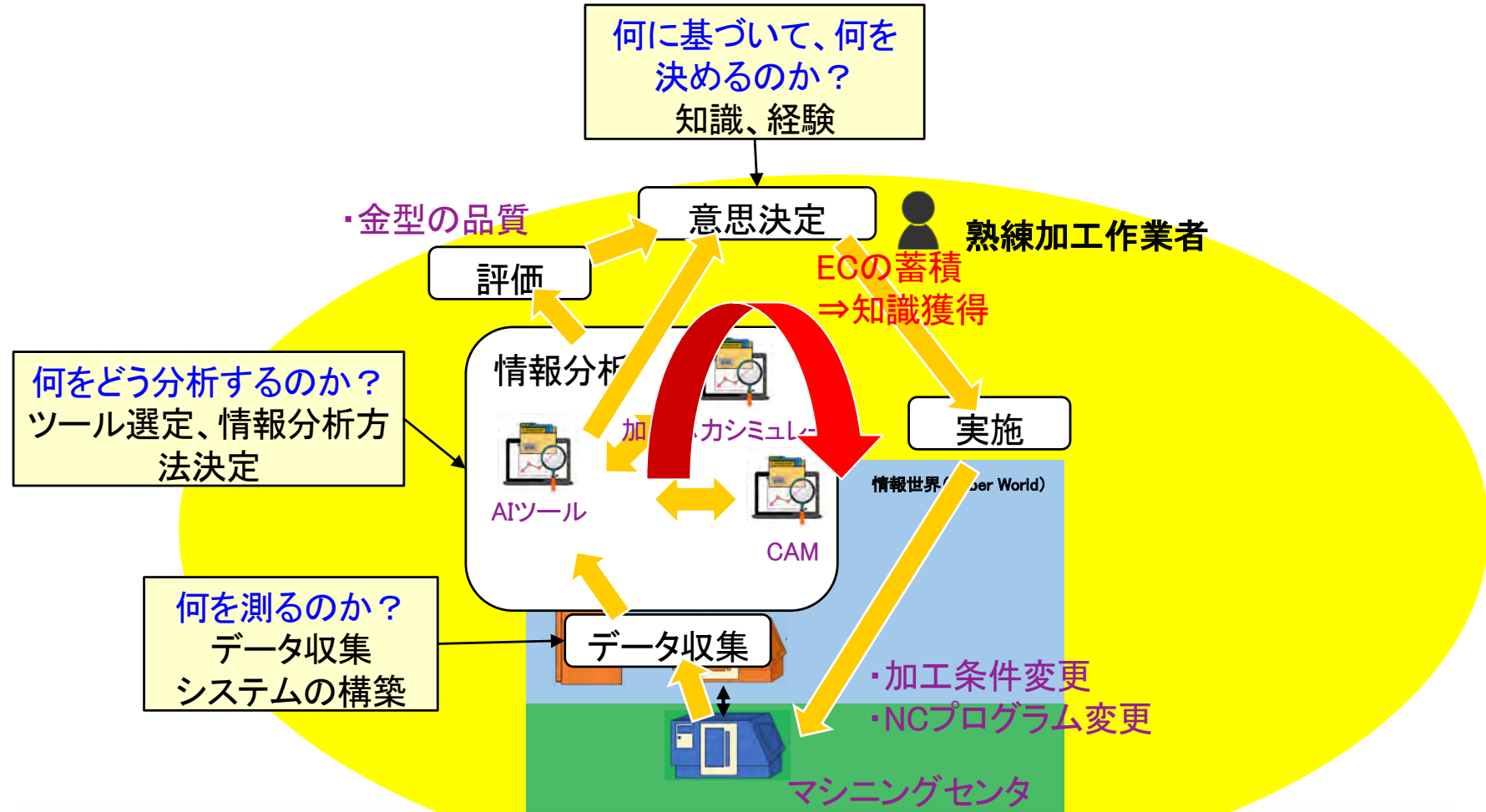
- 概要
  - 非熟練者(CAM設計経験1年未満)が、加工工程を設計
  - 3軸マシニングセンタを使用する
  - 作業支援システムによる支援の有無で比較
  - 熟練者(CAM設計経験20年以上)により、設計結果を評価

- ■ 評価結果

	評価基準 (10段階評価)	非熟練者		熟練者
		支援なし	支援あり	
仕上り品質	要求仕様に対して適切な仕上がりが(びびりの有無など)	0	1	5
加工形状	工具が適切に選択できているか	1	5	10
加工順番	適切な順番で加工されているか	1	3	8
加工時間	形状、品質に対して適切な加工時間か	判断不可	2	8
合計		2点 / 40点	11点 / 40点	31点 / 40点

改善

## 例：金型加工の場合 ～発展形



- 熟練作業者のエンジニアリングサイクル事例の蓄積と知識獲得  
 → 様々なD3の開発経験を積むことにより、D3型スマート生産システム構築方法論へ発展



## 若干の考察(1)

- 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



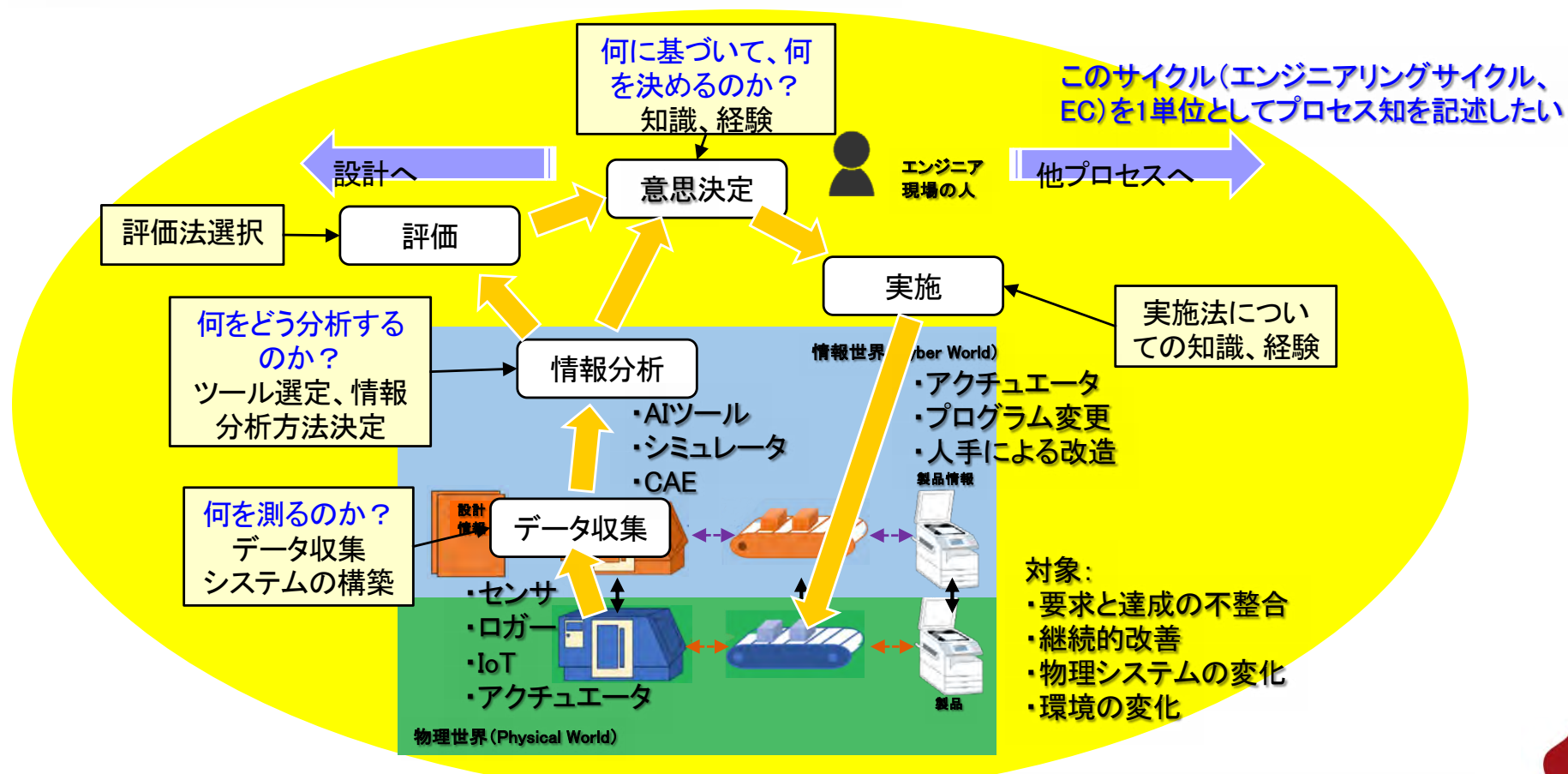
Cyber空間上のデータやソフトウェアの操作としてグラウンディングできた

- 記号とデータの結合は有力なアプローチ
- 超多次元空間(現実世界を計算機にそのまま写し取るアプローチ)から人間の知恵をこのような形で形式知化するアプローチまで多様な方法を用意し、人工物工学研究センターとして知識表現・操作のスペクトルを構成する



# デジタルトリプレット上での 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



## 若干の考察(2)

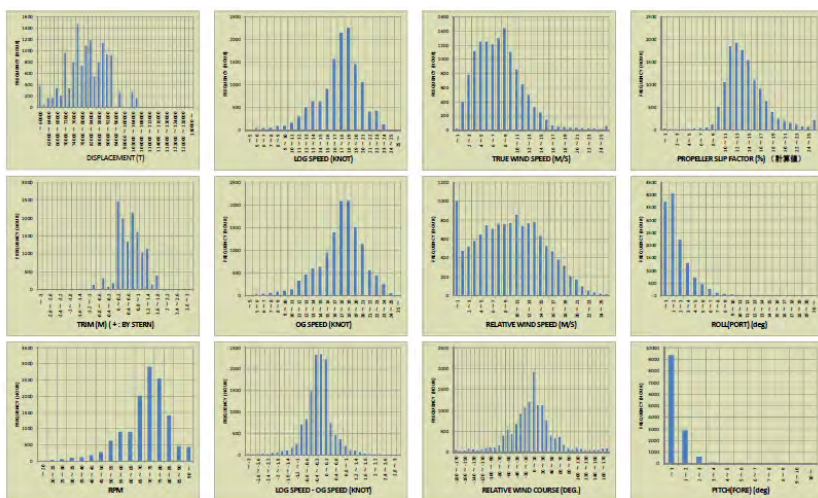
- 対象とする熟練者支援がI4.0の世界観に比べて細か過ぎるのではないか？
  - これがベストの粒度という訳ではなく、飽くまでケーススタディ。もう少し大きな粒度にもチャレンジしたい
  - 本命は、ライフサイクルを横断的、統合的に支援すること
    - » 設計へのフィードバック
  - 知識流通・販売的なビジネスモデル

課題

[H. Ando, MTI, 2017]

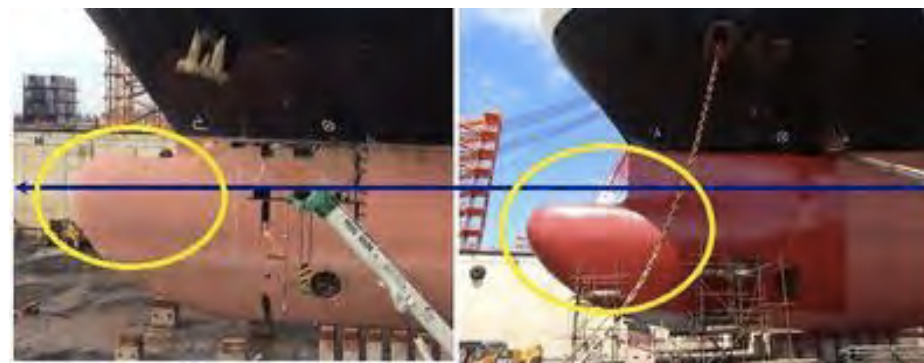
# 船型改造による性能改善

## 実運航プロフィール



現在のオペレーション  
に合わせた最適設計

## 船を生きかえらせる



**23 % CO2 reduction  
was confirmed**

- バルバスバウ改造
- 省エネデバイス (MT-FAST)他
- 改造した数 40隻

今後、新船型開発においても、運航プロフィール、実海域性能を考慮した最適化が進む。

# デジタル・トリプレット型生産システム構築人材 カリキュラムの構築

Vision (人材像)

Digital Triplet型生産  
システム構築人材

社会人コース  
(科目名は例示)

Meso  
(必要技術)

設計生産に関する基礎知識

生産システム技術

Digital Triplet構築・  
運用技術

デジタル基礎知識

Seeds  
(科目)

設計学

生産システム管理

Digital Triplet構築論

メカトロニクス論

生産工学概論

DT型生産システム構築

Digital Triplet構築演習

IoTシステム構築論

DT型生産システム構築演習

# Learning Factory [Abele et al. 2017]

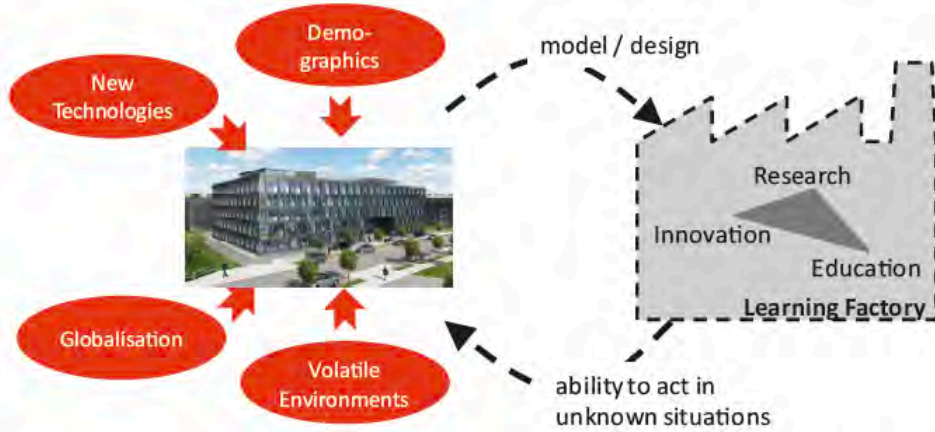


Fig. 2. The learning factory as a model of a real factory—incorporating the three poles of the “knowledge triangle” [11].

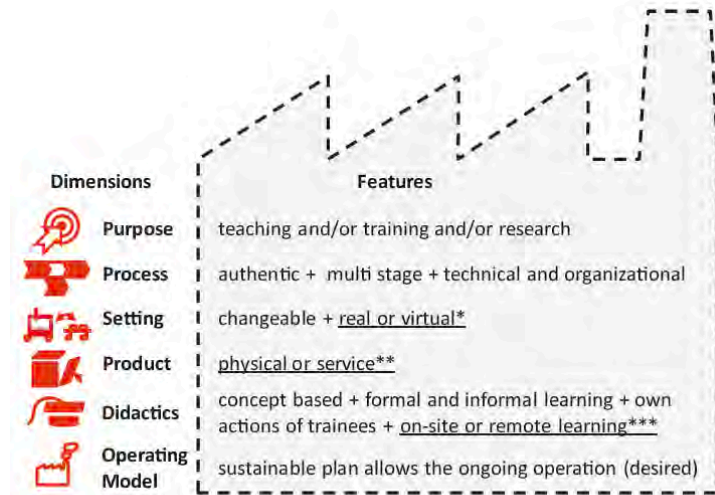


Fig. 9. Key characteristics of learning factories.

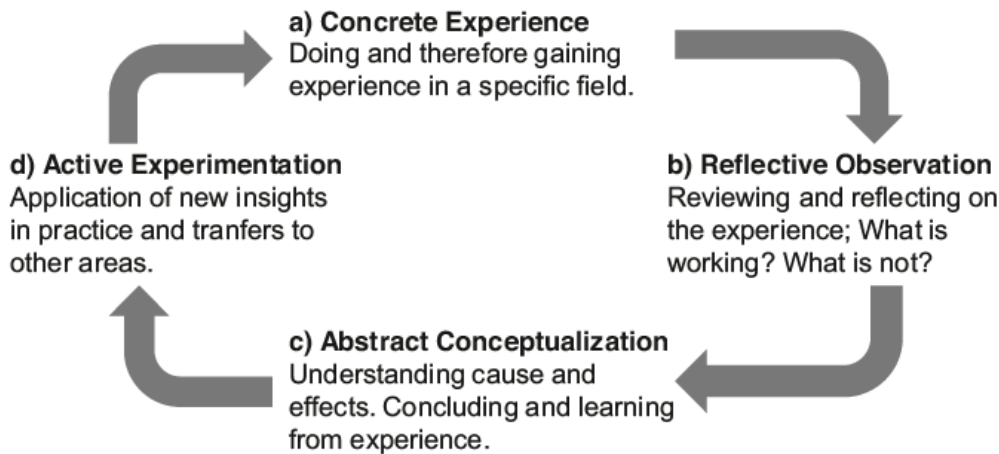


Fig. 6. Kolb's experiential learning cycle [181].



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

# Learning Factory @ 人工物



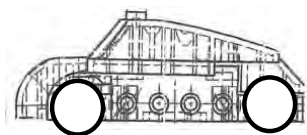
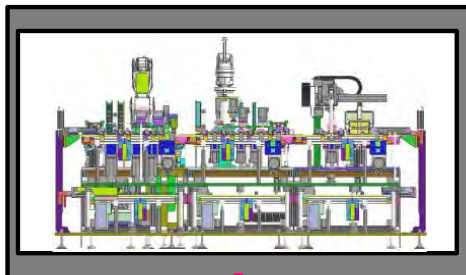
## 演習の内容

- 全体像をつかむための講義
  1. 生産ラインからの情報抽出と状況理解  
生産システムにおける操業データから有用な情報を抽出する. そこから現在生産ラインの状況を理解
  2. 生産ラインの改善提案  
その状況にある生産ラインの改善提案
  3. 生産ラインの制御  
仮想空間内のシミュレーション技術を用いて実生産ラインを制御
- 振り返り

## 実施内容(2): DT演習教材開発

### Learning Factory @ 人工物 全自動モデルカー組立ライン

Cyber



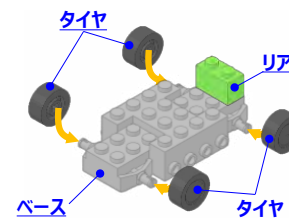
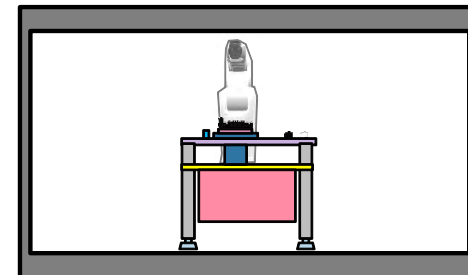
Physical



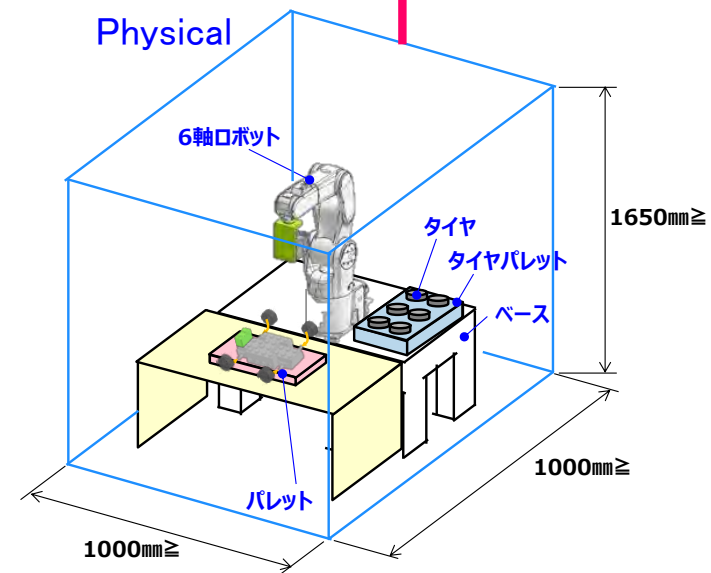
### <東大演習用システム>

ハート・リフト共にLASIライン(マシン1)のタイヤ組付工程を再現

Cyber



Physical





## いくつかの考察

- 仮想空間と実世界のギャップ
  - 不確実性、誤差、...
- モデルやシミュレータが単純過ぎる: モデル化できる現象しか表現、シミュレートできない
- 大量のデータから意味のあるデータを抽出することは難しい(経験と技量が必要)
- エンジニアリング・サイクルを構築するためには、収集するデータや使用するモデルやシミュレータを適切に選択することが重要
- 演習の準備をするためにはスタッフの労力が必要
- 現状ではD3システムを構築、適用している訳ではない。教室がD3という設定。思考プロセスは記録し始めている

## Acknowledgement

- 本研究の一部は、NEDO(with 産総研、三菱電機)、経産省産学連携デジタルものづくり中核人材育成事業、文科省科学研究費の補助を受けています

ご清聴ありがとうございました