

製造業のDXを目指すデータ解析・AI

東京農工大学 工学部 化学物理工学科
Tokyo University of Agriculture and Technology

山下善之
Yoshiyuki Yamashita, Prof.



August 26, 2022

自己紹介

山下善之

<https://web.tuat.ac.jp/~pseweb/>



- ▶ 現職
東京農工大学 工学部 化学物理工学科 教授(2007～)
- ▶ 専門はプロセスシステム工学 PSE
 - ▶ 化学工学+計測制御+AI
 - ▶ プロセスエンジニア であり, 計装エンジニア かつ ITエンジニア
- ▶ 主な学協会
 - ▶ 化学工学会 PSE委員会代表、AI・IoT委員会代表
 - ▶ 計測自動制御学会(SICE) 副会長
 - ▶ Virtual Engineering Community (VEC) 会長
 - ▶ 日タイ スマート保安コンソーシアム 副会長
 - ▶ 自動制御協議会 理事
 - ▶ PSE2021+ General Chair
 - ▶ 他に, 人工知能学会, 情報処理学会, AIChE, IEEEなどの会員

本日の内容

データ解析, AI, 機械学習

- ・データ解析, デジタル化
- ・AI の最新情報、機械学習入門

製造業のデジタル化

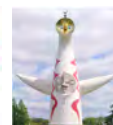
- ・DXと期待する効果、事例
- ・課題と対策

具体例と研究室における研究成果

- ・モニタリング
- ・研究紹介

まとめ

50年前の未来予測



- 世界中のテレビ中継が見られる。
- 教育の国際的交流が広がり、留学も簡単にできるようになる。
- 淡水魚の養殖技術が発達する。
- 未来住宅の室内には、壁掛けテレビ、ホーム電子頭脳、電子調整器などが普及する。
- △ 人工臓器は健康な体の一部として活躍する。
- △ 家事はすべて機械がやるため、主婦は電子チェアに座ってボタンを押すだけとなる。
- △ 会社は24時間業務を続けるが、人間の働く時間は1日4時間になる。
- △ 肉体労働は完全に姿を消す。
- × ガンは克服され、交通事故の時以外は手術が不必要になる。
- × 稲作は減少して、酪農に重点を置く。
- × グライダー操作や海底散歩が、一般的で人気のあるスポーツとなる。
- × プールや自家用ヘリコプターが一般家庭に普及する。

1970年大阪万博, 三菱未来館

これから

- 2025年: 大阪万博
 - IIoT, CPS の発展と活用
 - ものづくり現場における AI, AR 等の融合
 - 新世代の運転制御監視システム
- 2030年: コンピュータが意識を持つ?
現在の雇用の47%が消失?[‡]
The Law of Accelerating Returns [†]
 - スマート工場の完全自動運転?
- 2045年: コンピュータが人間を超える?
Technological Singularity [†]
 - ???



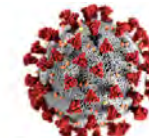
[†]Ray Kurzweil, The singularity is near, Duckworth Overlook (2010)

[‡]C.B.Frey&M.A.Osborne, The future of employment, Oxford Martin School Report (2013)

5

想定外の出来事が次々と起こる

- 震災、気候変動、パンデミック、軍事侵攻、、、
- AI・ICT技術、バイオテクノロジー、、、
- 今までの常識が非常識になる



COVID-19



VUCA

Volatility 変動性

- AIやICTの急速な進化

Uncertainty 不確実性

- 気候変動やパンデミック, 自然災害

Complexity 複雑性

- グローバル化, ダイバーシティ, 社会構造の変化

Ambiguity 曖昧性

- 不明確な解決策, 予測できない曖昧性

製造業のニューノーマル

レジリエンス

- サプライチェーンの強靱化
- オールハザード対応

グリーン

- カーボンニュートラルへの対応

デジタル

- ダイナミック・ケイパビリティの強化
- デジタル・トランスフォーメーションの取り組み深化

経産省, 厚労省, 文科省、製造基盤白書(ものづくり白書)2021年版

1. レジリエンス —サプライチェーンの強靱化—

- サプライチェーンへの被害は、従来は**自然災害**によるものが中心。危機意識の高まりから、**BCPを策定する企業も年々増加**。

我が国製造業が直面してきた災害と主な被害

2011年	東日本大震災	半導体メーカーの被災により、自動車をはじめ多くの最終製品メーカーが減産。
	タイの洪水	日系HDDメーカーや部品メーカーの被災により、電子機器をはじめ多くの最終製品メーカーが減産。
2016年	熊本地震	自動車部品メーカーが被災し、他地域の工場で代替生産。
2018年	平成30年7月豪雨	自動車部品メーカーが被災し、自動車メーカーが生産停止、短期間で復旧。



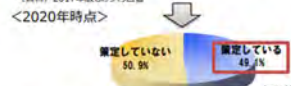
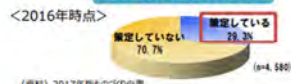
被災した半導体メーカー（東日本大震災）
（資料）ANAサステナビリティ（株）



洪水したタイ・エヌサヤ（タイの洪水）
（資料）経済産業省

経済産業省 他、製造基盤白書（ものづくり白書）2021年版

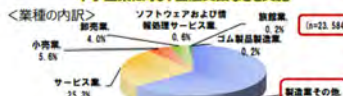
BCPの策定状況の変化



（資料）三菱UFJリサーチ&コンサルティング（株）「我が国ものづくり産業の課題と対応の方向性に関する調査」(2021年3月)

BCPなどを策定した中小企業への支援

経済産業省では、BCPなどを策定した20,000社以上の中小企業に対し、金融支援などを実施



（資料）経済産業省「事業継続力強化計画認定制度」における、2019年7月から2021年2月までの認定状況を基に作成

2. グリーン —カーボンニュートラルへの対応—

- 我が国を含めた各国政府は、**2050年までのカーボンニュートラルを目指す**ことを表明。脱炭素社会の実現に向けた取組が世界で広がっている。
- 我が国としても、**エネルギーの安定供給の確保や環境保全への配慮などと両立しつつ、「経済と環境の好循環」を実現するための成長戦略**としてカーボンニュートラルに取り組んでいく。

2050年カーボンニュートラルに賛同した国・地域

124か国・1地域
※全世界のCO₂排出量に占める割合は37.7%（2017年実績）



（資料）Climate Ambition Allianceへの参加状況及び国連への長期戦略提出状況など（2021年4月1日時点）

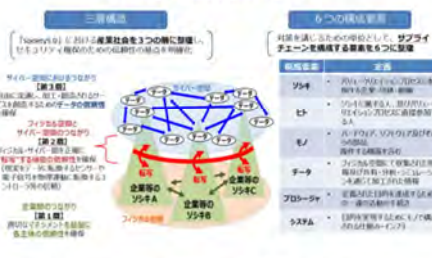
経済産業省 他、製造基盤白書（ものづくり白書）2021年版

3. デジタル —DXの取組深化—

- DXの取組深化は、**サイバー攻撃の対象範囲が従前よりも拡大**することと表裏一体。
- レジリエンス強化の観点からも、**中小企業も含めたサプライチェーン全体でのサイバーセキュリティ対策を、官民一体で着実に推進**していくことが不可欠。

サイバーセキュリティ対策を検討するためのフレームワーク

サイバー攻撃のリスク源を適切に捉えるためには、産業社会の構造やサプライチェーンの構成要素を正確に整理・把握することが第一歩



経済産業省 他、製造基盤白書（ものづくり白書）2021年版

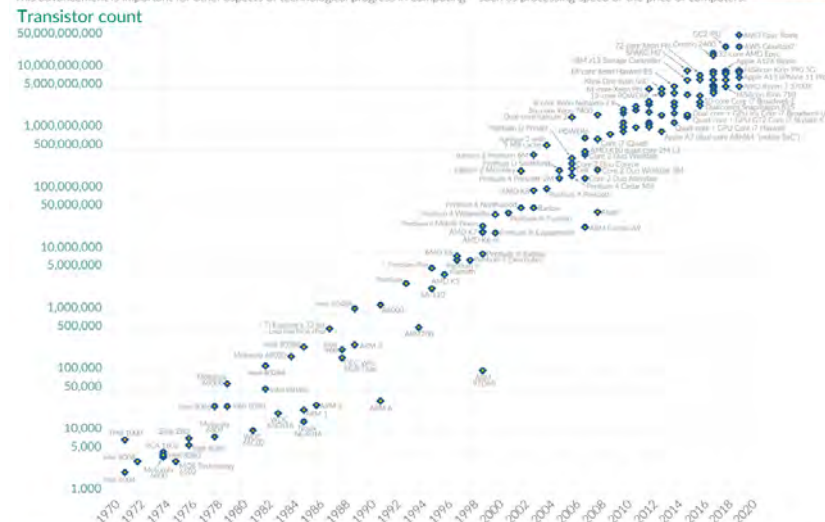
事例 サプライチェーンのサイバーセキュリティ強化に向けた産業界による普及・啓発

- 各経済団体や業種別業界団体などが中心となり、2020年11月に「**サプライチェーン・サイバーセキュリティ・コンソーシアム**」を設立。
- 本コンソーシアムでは、サプライチェーンのサイバーセキュリティ強化のために企業に求められる基本的行動の促進に加え、**中小企業も含めたサイバーセキュリティ対策促進のために必要な取組の検討や普及啓発等の取組が行われる。**
- 既に90以上の団体が会員として参加しており（2021年4月1日時点）、産業界の意欲高い取組が期待される。



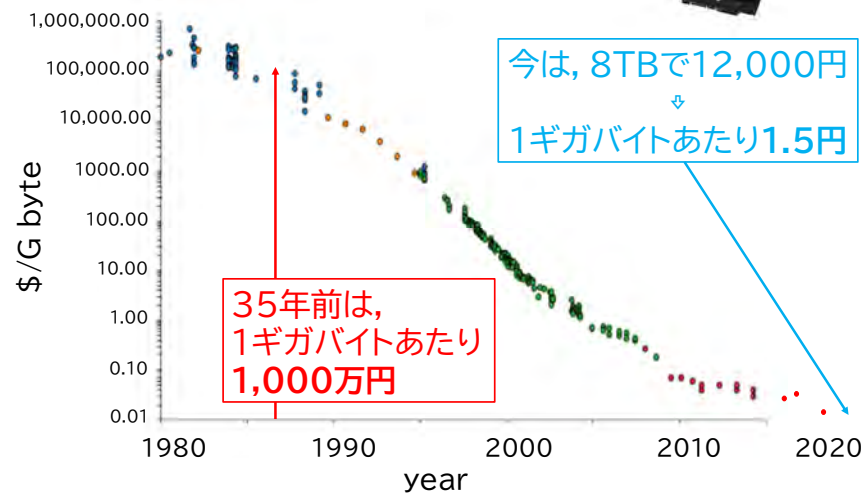
Moore's Law: The number of transistors on microchips doubles every two years

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.

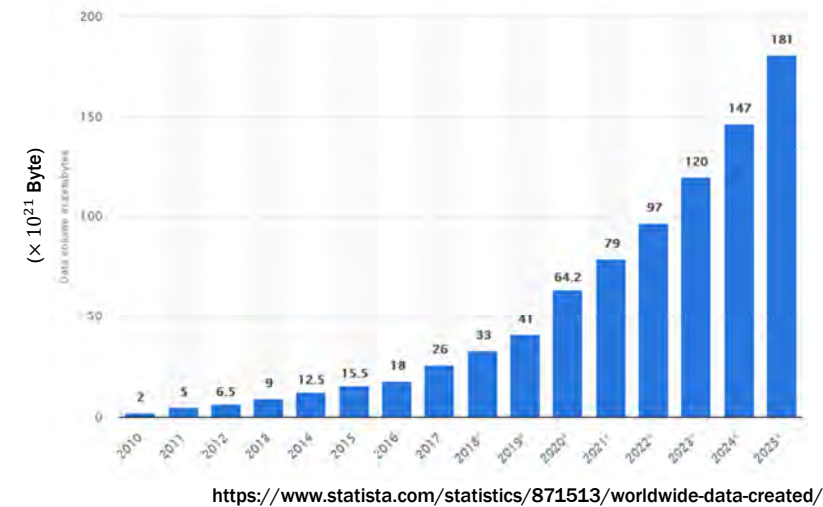


Data source: Wikipedia (wikipedia.org/wiki/Transistor_count) Year in which the microchip was first introduced
OurWorldInData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC BY by the authors Harvath Ritchie and Max Roser.

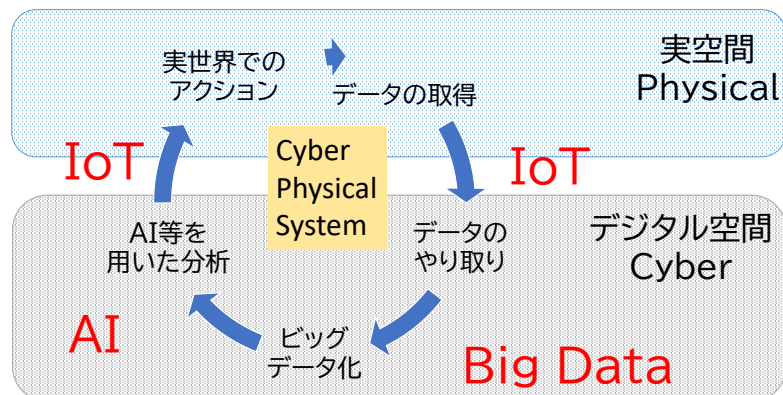
ハードディスク価格の推移



世界で年間に作られ、消費されるデータ量



データとデジタル技術の利活用 AI・IoT・BigData と CPS



人工知能(AI)



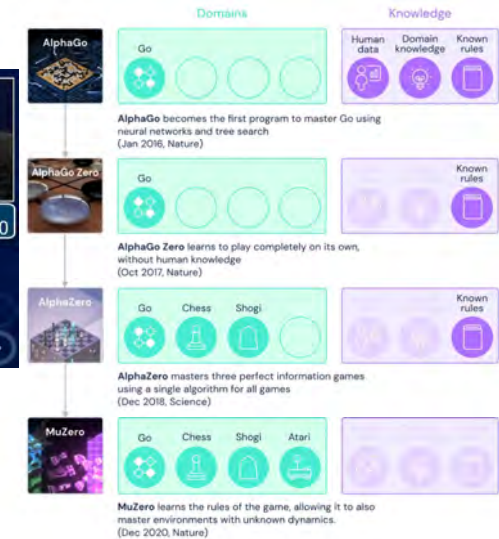
- 第1次AIブーム(1956年～1960年代)
 - 探索と推論
 - 人間がプログラムを記述
- 第2次AIブーム(1980年代)
 - 知識表現, エキスパートシステム
 - 人間がルールを記述
- 第3次AIブーム(2013年～)
 - 機械学習, ビッグデータ, 深層学習
 - データから学習



AlphaGO



2016年3月



Julian Schrittwieser et al., Mastering Atari, Go, chess and shogi by planning with a learned model, *Nature*, 588, 604-612 (2021)

肺がんをAIで検出 (google)

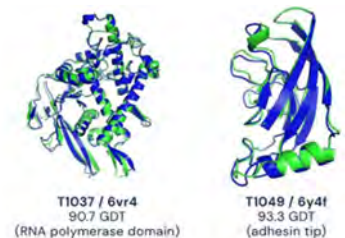
- 低線量肺がんCTによる画像診断をAIで実現
- 45856枚の画像で検証
- AIは熟練医(6人)より、擬陽性を 11% 減らし、検出率は 5% 上回った
- 2年後の肺がんリスク予測では、人間より9.5% 上回った
- 脳腫瘍や乳がんも同様に検出



Nature Medicine, 20 May 2019

AIがタンパク質の立体構造を解明

- DeepMind 社が遺伝子配列情報からタンパク質の立体構造を解析するAI “AlphaFold v2.0” を無償公開
- 6年間解けなかった分子構造を解明
- 研究の前提が変わったといわれている

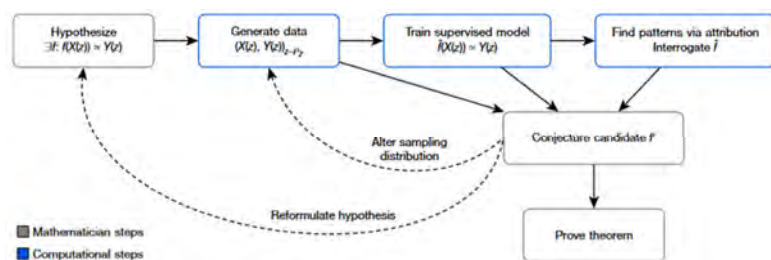


● Experimental result
● Computational prediction

Jumper, J. et al. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature*, 596, 583-589 (2021)

AIで数学の新たな定理を発見

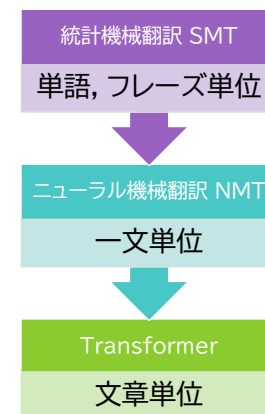
- DeepMind 社が数学研究支援の機械学習フレームワークを構築
- パターンの生成のみならず、パターンの意味を理解し定式化支援
- 結び目理論や順列に関する新たな定理を発見



Alex Davies et al., Advancing mathematics by guiding human intuition with AI, Nature, 600, 70-74 (2021)

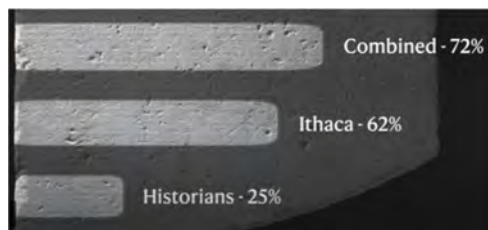
自然言語処理(NLP)の最近の進歩

- **統計モデル から トランスフォーマー へ**
- BERT(2018年11月) by google
 - ベンチマークで人間越え, 双方向Transformerモデル
- GPT-2(2019年2月) by OpenAI
- GPT-3(2020年6月) by OpenAI
 - 入力されたテキストから文章やプログラムを自動生成
- OPT-175B(2022年5月) by Meta
 - GPT-3相当の言語モデルを公開(ソースコードも)



Ithaca: 古代ギリシャの碑文を解析

- 碑文の欠損した文字を復元し解読
- 書かれた年代や地域まで高精度で推測



https://youtu.be/rQ0Ex_qCKeQ

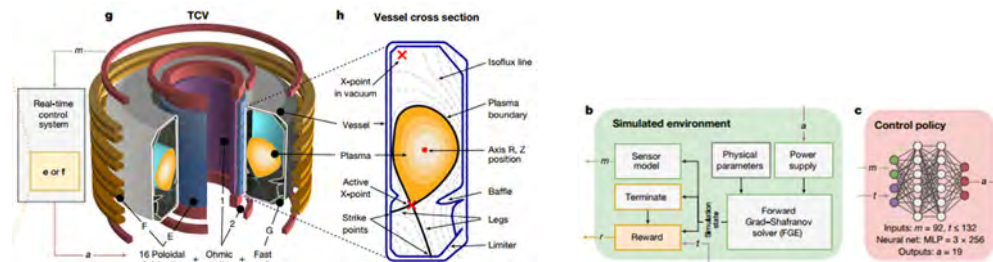


<https://ithaca.deepmind.com/>

Yannis Assael et al., "Restoring and attributing ancient texts using deep neural networks," Nature, 603, 280-283 (2022)

核融合を制御

- DeepMind社がトカマク型核融合炉の磁気制御を強化学習で実現



J.Degrave et al., "Magnetic control of tokamak plasmas through deep reinforcement learning," Nature, 602, 414-419 (2022)

AI で今できること

- 万引き犯の認識・逮捕 (VAAKEYE)
- TOEIC960点超のAI翻訳 (NTT Communications)
- 医師国家試験にAIが合格(中国)
- 薬剤師ロボットによる無人薬局(中国)
- 顔認証で行方不明者を発見(中国)
- レジなしストア(Amazon Go)



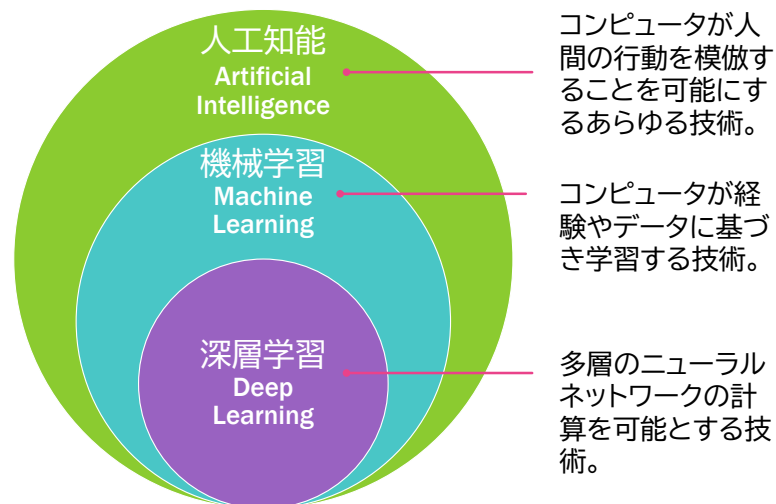
AIのその他の利用例

- Siri や Alexa などの音声アシスト
- お掃除ロボット
- クレジットカードの不正使用検知
- 製品の不良品検査
- 設備の目視検査の代替
- 電力需要・発電量の予測
- 配達ルート最適化

...



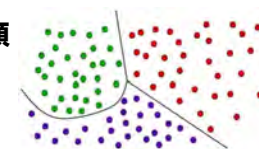
AIと機械学習, 深層学習



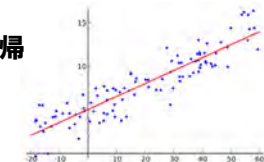
機械学習の手法

1. 教師付き学習

クラス分類



回帰

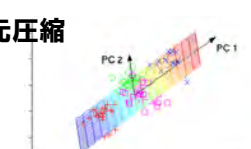


2. 教師なし学習

クラスタリング



次元圧縮



3. 強化学習

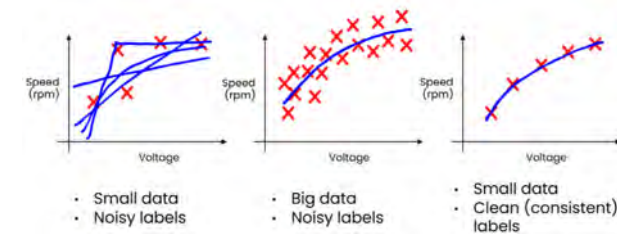


機械学習の代表的アルゴリズム

回帰	線形回帰, 重回帰, ロジスティック回帰, Random Forest, SVR, Ridge, Lasso, ElasticNet, SGD, GP, PCR, PLS, ANN, etc.
分類	線形分離, 決定木, k -NN, SVM, Naïve Bayes, Random Forest, ANN, etc.
クラスタリング	k -means, SOM, ART, GMM, ANN, etc.
次元圧縮	PCA, LDA, ICA, PLS, CCA, SVD, AE, etc.
強化学習	Q学習, TD学習, モンテカルロ木探索, etc.

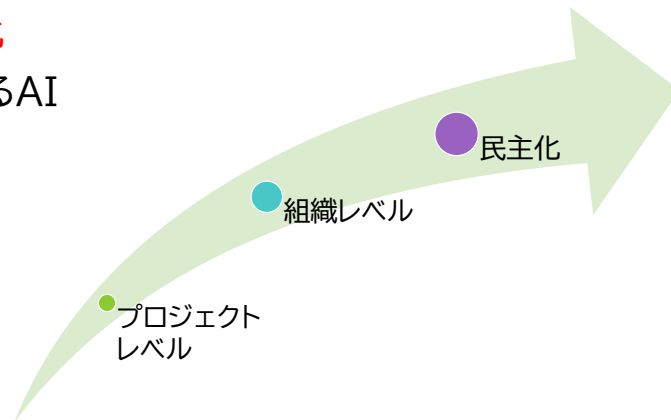
ビッグデータからグッドデータへ

- データ・セントリックAI
- アルゴリズムの時代から高品質データの時代へ
- モデルは固定して、データセットの改良を競う
Data-Centric AI Competition が開催



データサイエンティストのAIからユーザのAIへ

- AI の民主化
- 誰でも使えるAI
- DXを加速



AI倫理を取り巻く世界の動向

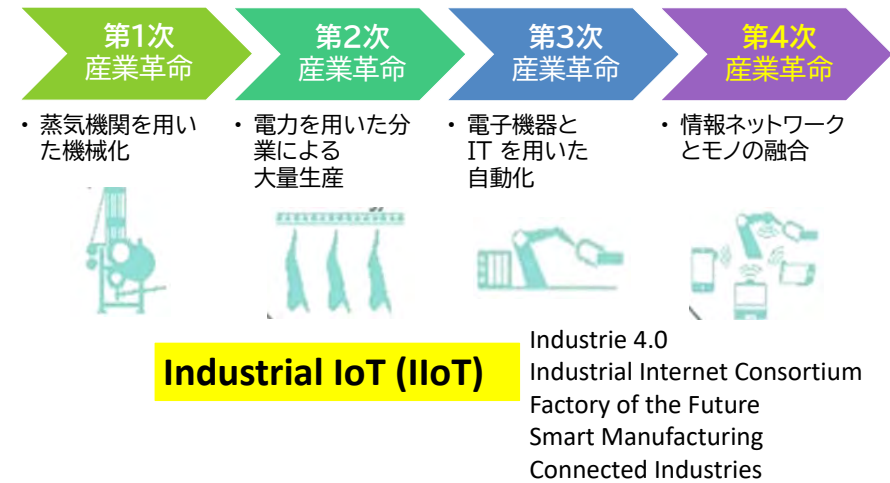
- 世界でAIの倫理的側面に関する議論が進展
- OECDやG20などでAI原則(ガイドライン)を合意
- 欧州ではAI規制案を制定

European Commission, Proposal for a Regulation on a European Approach for Artificial Intelligence, 21 April 2021



製造業のデジタル化

第4次産業革命



Industrie 4.0



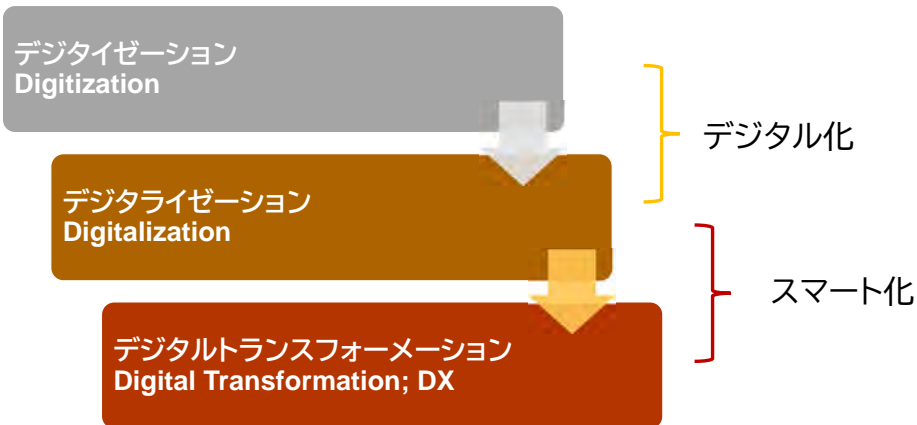
- ・ ドイツ政府が2011年から推進している戦略的プロジェクト
- ・ 産官学の総力を結集し、モノづくりの高度化を目指す
- ・ Cyber Physical System を使ったスマート工場の実現を目指す
- ・ 2013年、プラットフォームインダストリー4.0が設立
- ・ 2015年、実践戦略を公開
- ・ 相互運用性、情報透明性、技術的補助、分散型決定の4つを設計原則とする

Industrie 4.0 の4つの重要な側面



JETRO調査レポート「インダストリー4.0実現戦略」(2015年8月)
<https://www.jetro.go.jp/world/reports/2015/01/c982b4b54247ac1b.html>

デジタル化とDX、スマート化



43

DX(デジタル・トランスフォーメーション)とは？

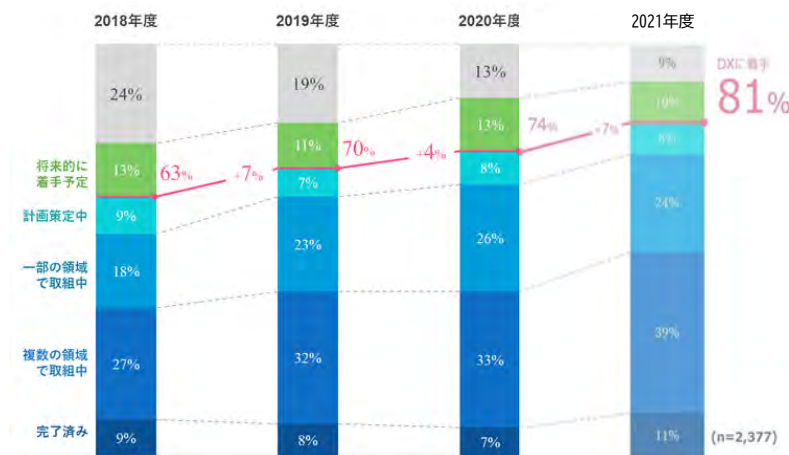
- 企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること

<https://www.meti.go.jp/press/2018/12/20181212004/20181212004-1.pdf>

経済産業省 DX推進ガイドライン Ver.1.0 2018年12月

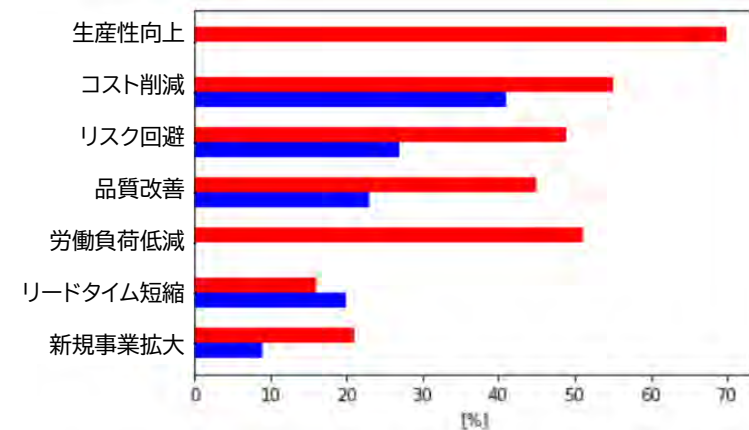
44

日本における企業のDX



電通デジタル「日本における企業のデジタルトランスフォーメーション調査(2021年度) 2022.1.11

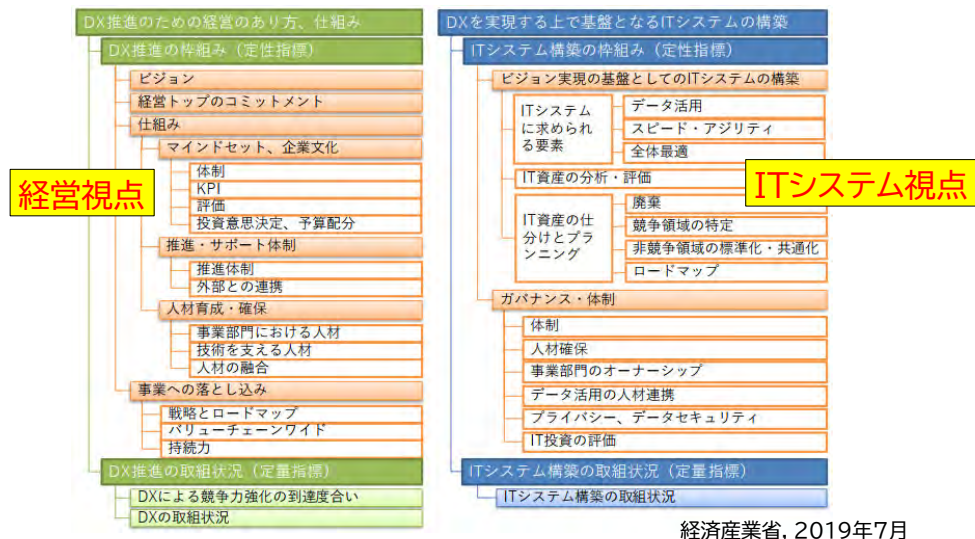
DXに期待する効果(目的)



Industrial-X「企業のDX実現に向けた課題とコロナ前後の意向に関する調査」2020年6月

計装制御技術会議でのアンケート結果 2021年2月

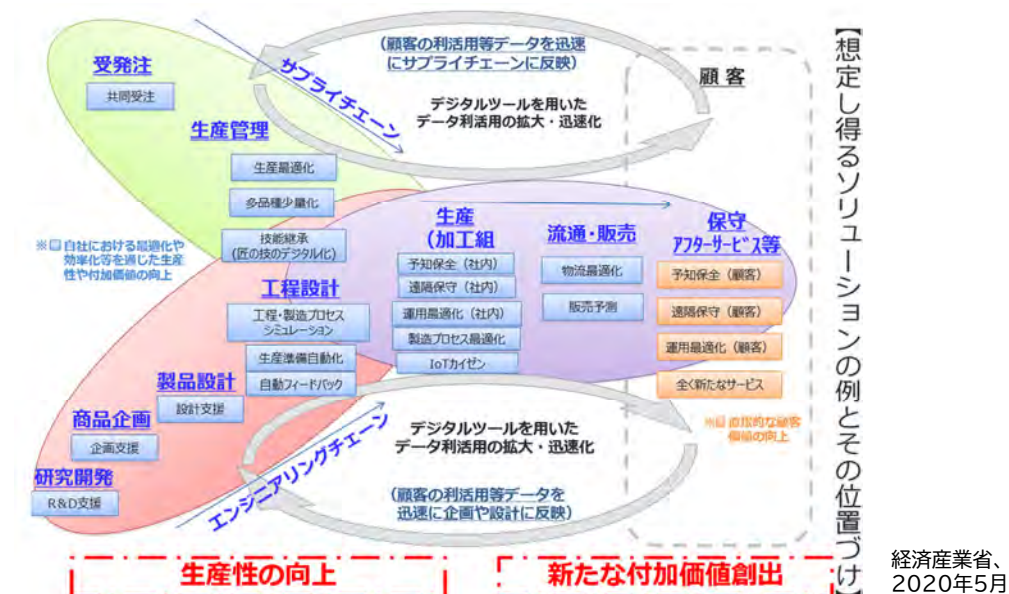
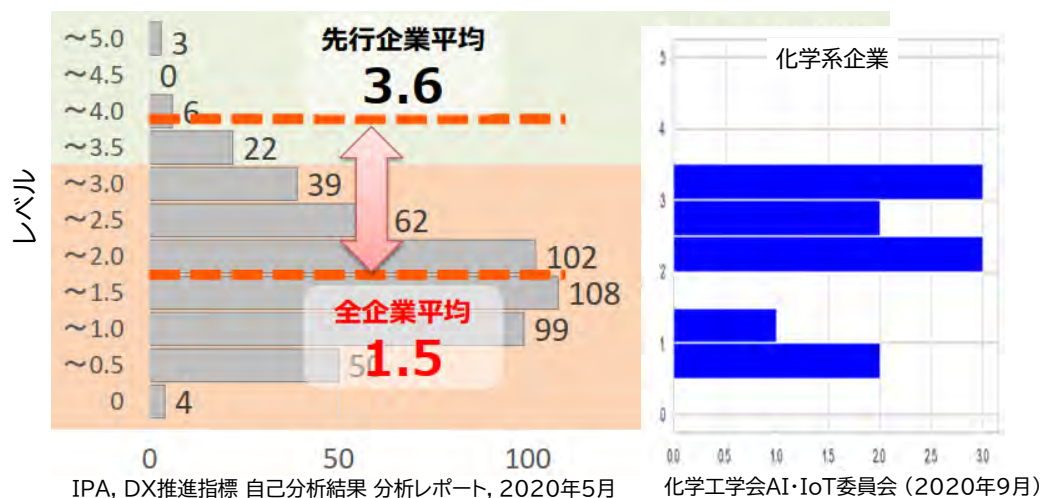
「DX推進指標」の設問構成

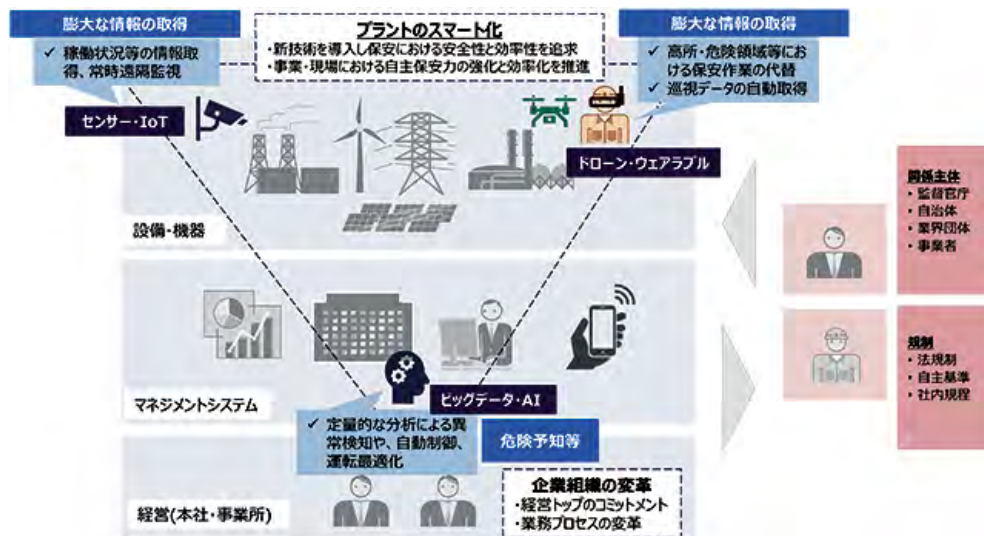


実際の質問項目の例

- 挑戦を促し失敗から学ぶプロセスをスピーディーに実行し、継続するのに適したKPIを設定できているか。(視点: 進捗度をタイムリーに測る、小さく動かす、Exitプランを持つなど)
- 事業部門において、顧客や市場、業務内容に精通しつつ、デジタルで何ができるかを理解し、DXの実行を担う人材の育成・確保に向けた取組が行われているか。
- DX推進に向け、データを活用した事業展開を支える基盤(プライバシー、データセキュリティ等に関するルールやITシステム)が全社的な視点で整備されているか。

DX推進指標に見るDXへの取組レベル

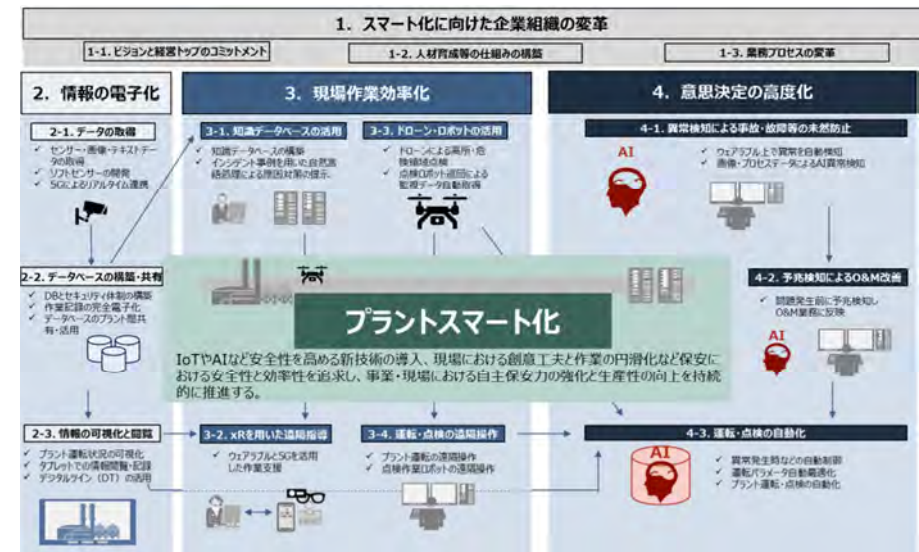




スマート保安官民協議会 高圧ガス保安分野「スマート保安アクションプラン」2020年7月

51

スマート保安を実現したプラントの将来像



スマート保安官民協議会 高圧ガス保安分野「スマート保安アクションプラン」2020年7月

化学プラントの運転・保守におけるAI適用事例

No.	企業	AI導入・検討事例
1	横河電機株式会社	配管の腐食による減肉量の推定と腐食の主要因特定
2	三菱ケミカル株式会社	深層学習による液面制御の異常検知
3	日揮グローバル株式会社	プラント設備の閉塞要因の抽出・可視化
4	日本電気株式会社	インバリエント分析技術を用いたオンラインによる異常予兆検知
5	旭化成株式会社	動力プラントにおける異常予兆検知
6	アズビル株式会社	ベテランのノウハウをしのぐ早期の設備・品質異常予兆検知
7	千代田化工建設株式会社	製油所における原料原油切り替え運転最適化AI
8	出光興産株式会社	画像の自動判別による配管外面の腐食箇所の検出・腐食のレベル分類
9	JSR株式会社	画像の自動判別による配管外面の腐食箇所の検出
10	株式会社イクシス	画像の自動判別によるひび割れ検出および腐食検出
11	株式会社ベストマテリア	リスクベースメンテナンスにおける損傷機構選定のAIによる自動化
12	鳥取大学・日本電気株式会社・筑波大学	確率推論を用いた事故の予兆分析とリスクアセスメントシステムの構築

経済産業省 他、プラントにおける先進的AI事例集、2020年11月

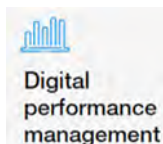
第4次産業革命ライトハウス

- 世界経済フォーラム(WWF)が90拠点を認定
- 評価項目(2019年まで)
 - 電子化と自動化
 - 高度かつ予測的な分析
 - VRやARなどの活用
 - IIoTの活用
- 評価項目(2020年に追加)
 - 高度なユースケース展開
 - バリューチェーンをエンドツーエンドで接続
- 評価項目(2021年に追加)
 - 環境・サステナビリティ



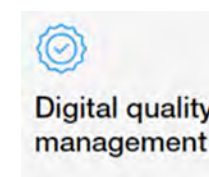
WEF, Global Lighthouse Network: Unlocking Sustainability through Fourth Industrial Revolution Technologies, September 2021

(デジタル)性能管理



- リモート生産最適化のための分析プラットフォーム
- 歩留まり管理と原因究明のための分析プラットフォーム
- 設備総合効率OEEを監視するデジタルダッシュボード
- リモート生産最適化のためのデジタルツイン
- 設備・機械レベルのデータと企業情報システムをつなぐ統合プラットフォーム
- センサーベースの製造KPIレポート

(デジタル)品質管理



- AIが実現する安全管理
- AIを活用した光学検査
- 最終製品の手動検査を代替する自動インライン光学検査
- デジタル化された品質不良診断
- IoTを活用した製造品質管理
- 最終製品の検査を支援するMRグラス
- 予測分析による品質向上



化学工場のデジタル化における主な課題

• 技術的課題

1) データ不足

- データが使えるようになっていない
- 多品種少量生産の工場もある
- 量産型の工場はデータの変動が少ない
- 異常状態はほとんど起きていない

2) 結果の解釈・信頼性

- 結果を説明できない
- 信頼性を評価しにくい
- 説明責任を果たしにくい

3) モデルの維持管理

• 教育・人材育成の課題

• 人材不足

- 経営層の理解不足
- 教育ツール不足

• その他

- 事例やノウハウの不足
- 社内文化の問題
- 導入効果や目的が不明
- 進め方が不明

課題1)「データ不足」の解決策

- データを集める
 - 人海戦術
 - センサ設置
- データを作る
 - 物理モデルやシミュレーションの活用
 - データ拡張 Augmentation
- 少ないデータでも何とかする
 - 敵対的生成ネットワーク GAN
 - スパースモデリング
 - 転移学習 Transfer Learning



65

シミュレーション(物理モデル)の活用

シミュレータや物理モデルの併用によって、データ不足や解釈性の課題を改善できる

- ✓ 異常時への対応には、異常状態にも対応した精緻なシミュレータが必要
- ✓ 実時間での活用には、**操業中の工場とシミュレータの同期**が必要

White-box model	Grey-box model	Black-box model
Deterministic equations Detailed submodels	Data + Physiological knowledge	Data-driven models



66

課題2)「結果の解釈・信頼性」の解決策

- 解釈性
 - 説明可能なAI(XAI)に期待する
 - 結果を人間が逆解析して理由を求める
 - シミュレータで再現する
- 信頼性
 - 利用するデータの質や適用範囲を担保する
 - 経産省の「信頼性評価ガイドライン」を活用する

<https://www.meti.go.jp/press/2020/03/20210330002/20210330002.html>

68

プラント保安分野AI信頼性評価ガイドライン

- 経済産業省は、消防庁、厚生労働省と連携し、石油・化学プラント内でのAIの信頼性を適切に確保するための「AI信頼性評価ガイドライン」を取りまとめました。
- これによりプラントの保全・運転に安全性が確保されたAIの導入が進み、保安現場の課題が解決(人手不足対策、事故抑制など)されることが期待されます。

2020年11月17日 公開
2021年3月30日 改訂版公開

<https://www.meti.go.jp/press/2020/11/20201117001/20201117001.html>

<https://www.meti.go.jp/press/2020/03/20210330002/20210330002.html>



69

経産省におけるスマート保安推進の取組

これまでの具体的取組例

①スーパー認定事業者制度（高圧ガス保安法）

IoT等の新技術の活用及び高度なリスクアセスメントの実施等、高度な保安の取組を行う事業所について、**完成検査・保安検査に係る規制を合理化**。2017年4月から導入。

②定期安全管理検査制度に係るインセンティブ措置（電気事業法関係）

IoT・所内専用監視設備等による常時監視・予兆把握の実施有無等、保守・点検の実施方法や設備安全性について事業者の保安レベルを評価し、定期事業者検査及び定期安全管理審査の時期を延伸するインセンティブを付与。（2017年4月開始）

③カメラ搭載のドローン等による検査を可能とする規制改正

完成検査及び保安検査の検査方法について、これまで目視検査とされていたが、**カメラを搭載したドローン等を活用した検査を可能とするための省令改正を実施**。（2020年10月）

④プラント保安分野のAIガイドライン・事例集（2020年11月）

「プラント保安分野AI信頼性評価ガイドライン」
AIの信頼性評価を行い安全に対する説明責任を果たす方法を提示。
「プラントにおける先進的AI事例集」
AIの投資効果を明確にし、AI導入時の典型的な課題（AI人材不足、目標設定の困難性等）の解決方法を具体的に提示。

スマート保安推進に向けた【官・民】の取組 （2020年6月スマート保安官民協議会）

官：保安規制の見直しと支援・仕組みづくり

【保安規制の見直し】

- 電力・高圧ガス分野の保安検査等の規制・制度につき、新技術の導入の阻害要因がないか、**規制の総点検を実施**
- 総点検の結果を踏まえ、**規制の具体的な見直し**

【支援・仕組みづくり】

- 技術開発・実証事業への支援
- 先進事例の普及に向けた**仕組みづくり**（ガイドラインの策定、先進事例の表彰等）

民：ヒト・モノ・技術への積極投資

【新技術の導入】

- 安全性と生産性を高めるIoT/AI等新技術の積極的導入と**人材育成**（ドローン、リアルタイムのモニタリング、遠隔監視等）

【技術開発等への投資】

- 安全性・生産性の飛躍的な向上に向けた**技術開発**（イノベーション）への投資

日タイ スマート保安コンソーシアム

<https://www.tjsisc.com/>

- 日タイ両国の産学官が連携して、2021年6月に設立
- スマート保安に関するビジネス交流・技術連携の促進、人材育成、関連技術や制度設計の研究等を推進
- 日タイ両国を中心とした国々の保安力向上に資するとともに、関連ビジネスの拡大・産学連携の促進、会員企業の事業活動を支援



タイ工業省



経済産業省

Ministry of Economy, Trade and Industry



教育・人材育成について

・大学教育

- 化学工学＋データサイエンス の教育を推進
- 統計の基礎

・社会人教育

- 経営層、管理者層、運用層それぞれに応じた教育
- プラントに詳しい者へのデータサイエンス教育
- 適切なカリキュラムと適切な実例
- スキルレベル測定法

政府の目指す人材育成

AI戦略2019（日本政府閣議決定）



化学工場のDX化に関わる技術者

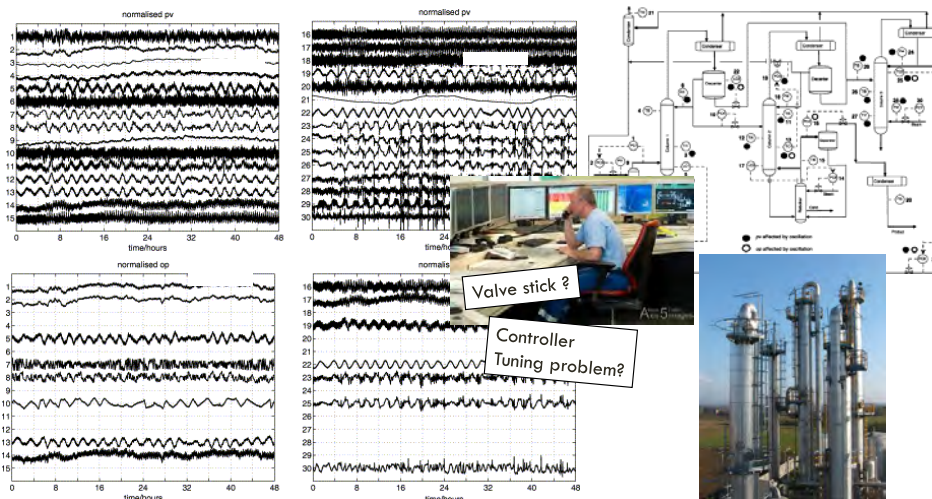
	計測制御技術者	プロセス技術者	データサイエンティスト
対象	計測制御システム	化学プラント	コンピュータ
主な専門	制御工学	化学工学	人工知能
学会	計測自動制御学会, IFAC, IEEE	化学工学会, AIChE	人工知能学会, 情報処理学会
認定資格	計測制御エンジニア	化学工学技士	ディープラーニング検定, 情報処理技術者
主な出身学科	電気, 機械 (制御, 数理)	化学工学, 化学	情報, 数学

➡ プロセス技術者がAIを学ぶのが近道

74

プロセスモニタリング 異常の検出・診断

プロセスモニタリングとは？



モニタリングの目的

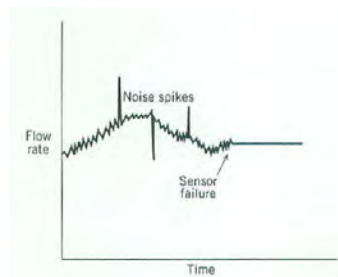
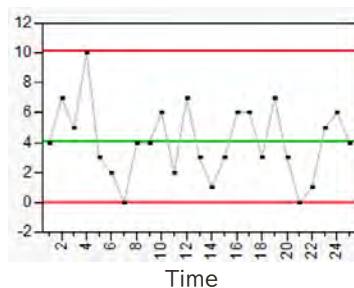
- 日常的な監視
Routine Monitoring
Ensure that process variables are within specified limits
- 異常の検出・診断
Detection and Diagnosis
Detect abnormal process operation and diagnose the root cause
- 予防監視
Preventive Monitoring
Detect abnormal situations early enough that corrective action can be taken before the process is seriously upset

D.E.Seborg *et al.*, Process Dynamics and Control, 4th ed., Wiley (2017)

モニタリングの手法(1)

• Limit Checking

- 上下限, 変化速度の上限, 変動幅の下限などで異常を検出

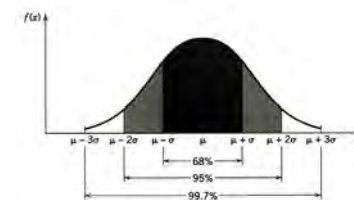
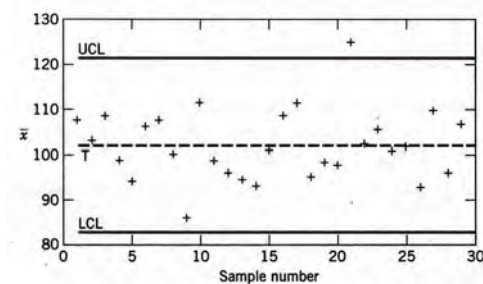


モニタリングの手法(2)

• 統計的プロセス管理:

Statistical Process Control (SPC)

- \bar{x} chart, s control chart
- CUSUM, EWMA, . . .



$$UCL = T + 3\hat{\sigma}_x$$

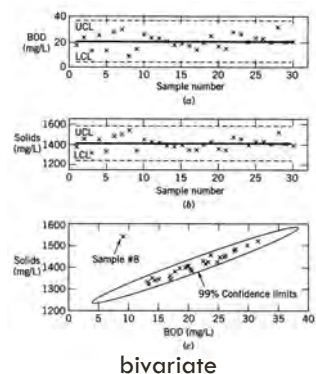
$$LCL = T - 3\hat{\sigma}_x$$

T : desired value or \bar{x}

モニタリングの手法(3)

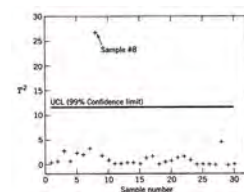
• 多変量統計的プロセス管理

MSPC



Hotteling's T^2 statistics

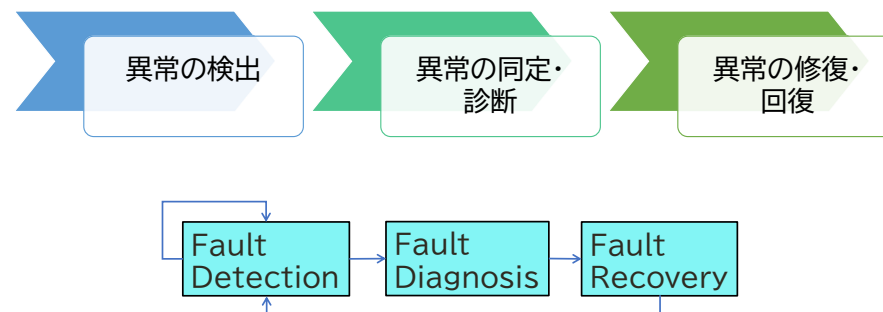
$$T^2 = n[\bar{x}(k) - \bar{\bar{x}}]^T S^{-1} [\bar{x}(k) - \bar{\bar{x}}]$$



PCA, PLS, SVM, etc.

multi-variate

モニタリングを超えて

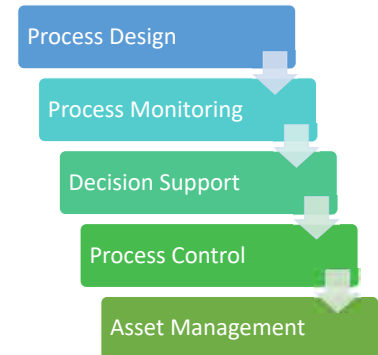


研究室における 最新の研究成果

東京農工大学工学部化学物理工学科
プロセスシステム工学研究室

山下研究室の研究概要

プロセスシステム工学 =
化学工学と人工知能で化学プラントのスマート化に貢献



プロセスシステム工学とは Process Systems Engineering

- ✓ さまざまなプロセスシステムを設計・運転・制御し管理する際に
合理的な意思決定を行う手法を追求する工学として誕生
- ✓ 複雑なシステムのモデル化・シミュレーションと最適化がキーテクノロジーと言われている
- ✓ 対象プロセスの知識の他に、数学と情報通信技術、計測制御技術の理解が必要

MSO パラダイム

モデル化 Modeling

対象の(数学的な)モデル化
制約条件の記述

シミュレーション Simulation

モデルに基づく現象の予測
さまざまな条件の検討

最適化 Optimization

目的の明確化
最適解(ソリューション)



PSE 2021+ KYOTO

19–23 June 2022



The 14th International Symposium on Process Systems Engineering

PSE for Smart & Sustainable Society
perspectives from the origin



Japan was a sustainable Society
in Edo Period (1603 – 1867)

Kyoto Protocol
(1997)

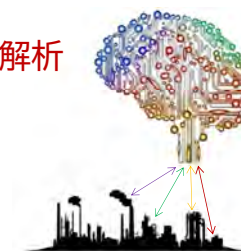
Smart & Sustainable
Society



<http://pse2021.jp/>

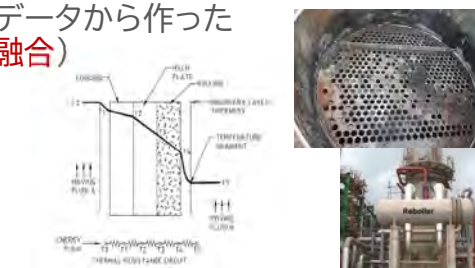
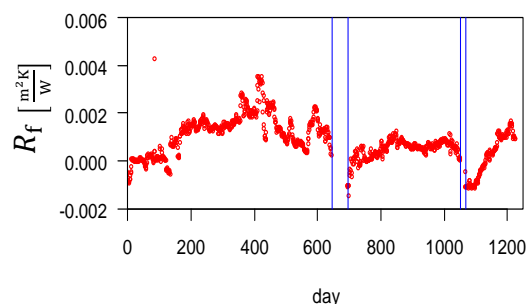
最新の主な研究テーマ Research Topics

- 1) 熱交換器におけるファウリング(汚れ)の自動診断
- 2) 制御弁の固着状態の自動診断・補償
- 3) プロセス制御系の制御性能診断・再調整
- 4) 機械学習を活用した品質推定(ソフトセンサ)
- 5) 人工知能技術を活用したプラント運転データ解析
- 6) プロセス知識を活用するプラントの運転監視
- 7) AI・IoTを活用する設備診断
- 8) ナノ材料の界面・構造-プロセス-機能相関
- 9) 簡素型有機合成支援システム



1) 熱交換器におけるファウリング(汚れ)の自動診断

熱交換器内における汚れの程度の推定手法
(推定モデルは、温度や流量等の測定データから作った
データ駆動型モデルと物理モデルを融合)

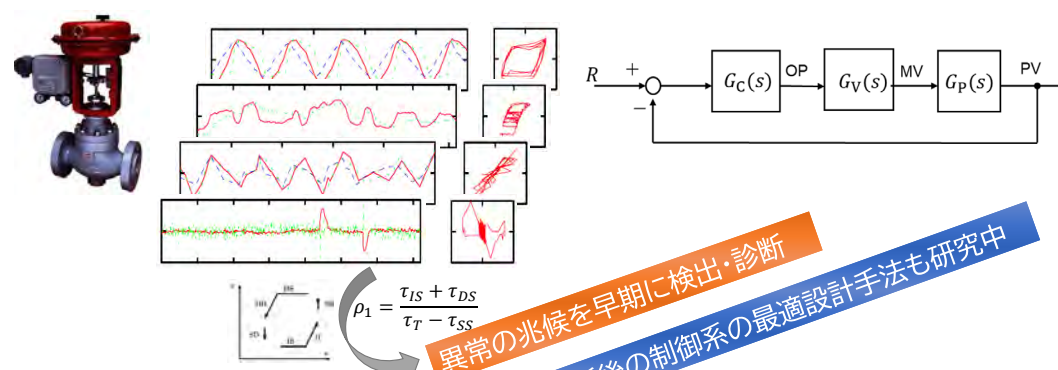


$$R_f \equiv \frac{1}{h_{id}} = \frac{1}{U_o} \left(\frac{d_i}{d_o} \right) - \frac{1}{h_i}$$

$$\frac{1}{U_o} = \frac{d_o}{d_i} \left(\frac{1}{h_{id}} + \frac{1}{h_i} \right) + \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_o}{2k_w} \ln \frac{d_o}{d_i}$$

Y. Yamashita *et al.*, Heat Exchanger Fouling and Cleaning - 2017, Madrid (2017)

2) 制御弁の固着状態の自動診断・補償



定性挙動解析による診断手法
(Yamashita Technique)

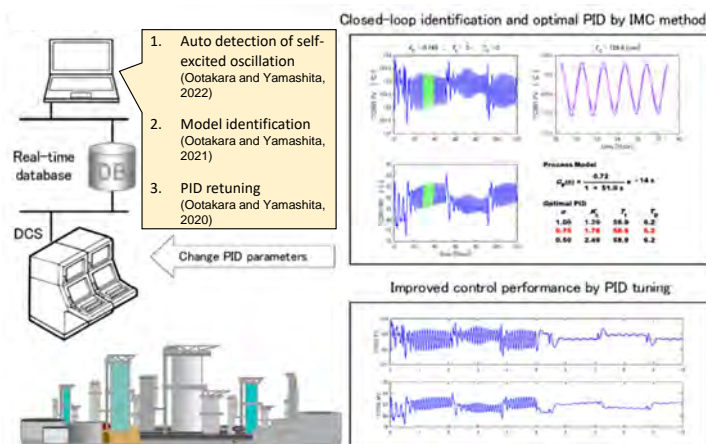
1) Y. Yamashita, *Control Eng. Practice*, **14**, 503-510 (2006)

2) M. Daiguji, Y. Yamashita, *Comput. & Chem. Eng.*, **158**, 107641 (2022)

異常の兆候を早期に検出・診断

診断後の制御系の最適設計手法も研究中

3) プロセス制御系の制御性能診断・再調整

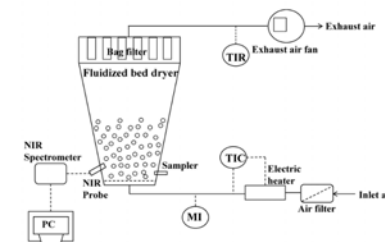
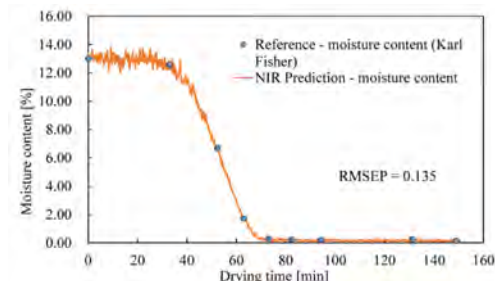


- 1) S. Ootakara, Y. Yamashita, *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **48**, 131-140 (2022)
- 2) S. Ootakara, Y. Yamashita, *J. Chem. Eng. Japan*, **54**, 672-684 (2021)
- 3) S. Ootakara, Y. Yamashita, *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **46**, 211-218 (2020)

4) 機械学習を活用した品質推定

①流動乾燥装置の水分量監視と乾燥終点の自動判別

- NIRスペクトルを用いたソフトセンサーを用いて、流動乾燥装置内の粉体の水分量をオンライン、リアルタイムに推定し、乾燥終点を自動判別

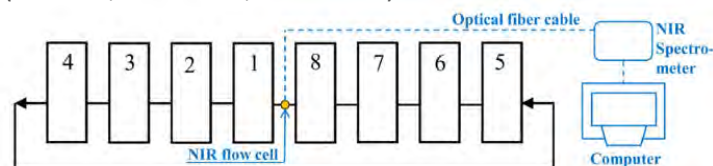
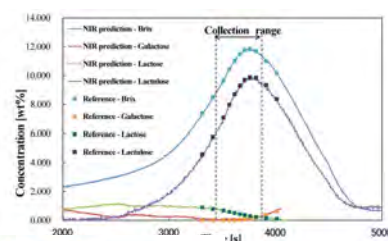


K. Inagaki, Y. Yamashita, *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **43**, 29-36 (2017)

4) 機械学習を活用した品質推定

② 疑似移動層における3つの糖成分の同時推定

- NIRスペクトルのソフトセンサーを用いて、3種類の糖の量を同時にオンライン推定できるようにし、目的成分の抜き取りを最適化
(Lactose, Lactulose, Galactose)



K. Inagaki and Y. Yamashita, *J. Chem. Eng. Japan*, **50**, 136-141 (2017)

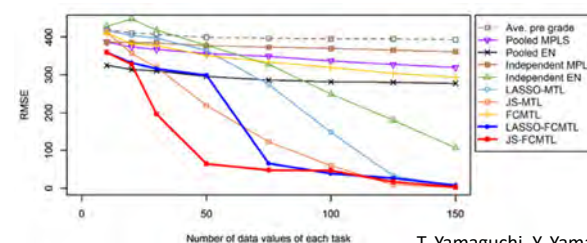
4) 機械学習を活用した品質推定

③マルチタスク学習による多品種バッチプロセスの品質予測

- ElasticNet をマルチタスク学習に拡張
JS-FCMTL

$$\min_{\mathbf{W}, \mathbf{b}, \mathbf{Z}} L(\mathbf{W}, \mathbf{b}) + \lambda_s \|\mathbf{W}\|_{2,1} + \lambda_1 \|\mathbf{W}\|_F^2 + \lambda_2 \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \mathbf{Z}_{ik} \|\mathbf{w}_i - \mathbf{w}_k\|_2^2 + \lambda_3 \|\mathbf{Z}\|_{1,2}$$

- ブロー成型の実プラントに適用



T. Yamaguchi, Y. Yamashita, *Comput.Chem. Eng.*, **150**, 107320 (2021)

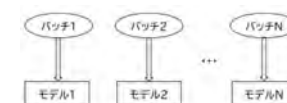


図 1: 通常の機械学習

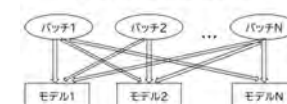


図 2: マルチタスク学習