

特集

Special Feature

[DX (デジタルトランスフォーメーション): 第1部 DXとは何か, 我が国の現状は?]

1 DX (デジタルトランスフォーメーション)

とは何か

— DXの現状と展望, 情報処理技術の課題と機会—



青山幹雄 | 南山大学

本稿はDXの全体像を示し, DXとは何か, その構造, 課題, ならびに, 情報処理技術の研究開発の課題を解説する。

DXとは?

DXへ至る3段階モデル

DX (Digital Transformation) [デジタル変革]とはデジタル技術による組織全体の変革を意味する^{☆1}。我が国では, 著者らがとりまとめに参画し, 2018年9月に発行された「DXレポート」^{☆2}により広く知られるようになった。このレポートは「2025年の崖」という副題を付け, 我が国におけるDXへの立ち後れに警鐘を鳴らした。

DXは包括的概念で, その意味は現在も進化し続けている。現時点でのDXとそれに関連する概念の定義

☆1 <http://www.dxresearch.jp/>

☆2 <http://www.meti.go.jp/press/2018/09/20180907010/20180907010.html>

<p>デジタルトランスフォーメーション(DX: Digital Transformation): 組織横断/全体のデジタル化 デジタル技術を活用したビジネスモデルや社会活動の変革 サービスやビジネスがデジタルで完結 例: マルチサイドビジネス(シェアリングクラウドソーシング等の マッチングビジネス), サブスクリプション</p>
<p>デジタルライゼーション(Digitalization): 個別業務のデジタル化 個別業務や製造などのプロセスのデジタル化 目標は既存の業務やサービスの効率化 例: Eコマース, オンライン授業, オンライン診療, ネット銀行, Webによる音楽などの配信</p>
<p>デジタイゼーション(Digitization): データ化 アナログ, あるいは, 物理データをデジタルデータ化 例: クレジットカード, 電子書籍, デジタルカメラ, ワープロなどによる文書電子化</p>

■ 図-1 DX, Digitalization, Digitization の定義

を図-1に示す。この定義はインダストリー4.0などで2015年頃に盛んに議論されたが, おおむね共通の理解となっている^{☆3}。

(1) デジタイゼーション (Digitization)

情報のデジタル化。紙などに記録されている情報をデジタル化し, コンピュータによる処理とネットワークによる交換を可能とする。

(2) デジタライゼーション (Digitalization)

業務のデジタル化。特定, あるいは, 一連の業務でデータを利用しコンピュータで遂行可能とする。

(3) DX (Digital Transformation)

組織全体にわたる業務のデジタライゼーション。2020年の新型コロナ禍は, 我が国の多くの組織がデジタイゼーションさえも達成できていないことを明らかにした。

DXの目標

DXには主として次の2つの目標がある。目標(1)に焦点が当てられることが多いが, それを実現するためには, 目標(2)の達成も必要となる。

(1) 顧客や社会の問題の発見と解決による新たな価値創出

顧客や機器とスマートフォンやIoTで直接接点を持つこと(Engagement)により顧客や社会の問題をデジタル技術で発見, 解決することによる新たな価値創出。このようなDXの目標はデジタルビジネス, あるいは, デジタル企業(Digital Enterprise)の実現ともいわれる。

☆3 <https://www.forbes.com/sites/jasonbloomberg/2018/04/29/digitization-digitalization-and-digital-transformation-confuse-them-at-your-peril/#14b048042f2c>

特集
Special Feature

(2) 組織内の業務生産性向上や働き方の変革

この目標は従来の企業内生産性向上の延長でもある。しかし、意思決定や業務の変化への俊敏な(Agile)対応など、目標(1)の実現を支援する。

DXの発展

DXと関連するビジネス、プラットフォームの発展を図-2に示す。DXが現在の意味で捉えられるようになったのは2010年頃である。DXの概念形成やプラットフォームの発展には次の2つの流れがある。

(1) EUを中心とするDXの研究開発の発展

2011年に発表されたインダストリー4.0の概念の下、ドイツの製造業のDXに端を発し、EUにおけるDXの多面的で継続的な研究開発が現在まで続いている。ここでは、概念形成、研究開発と実践、標準化などの成果が多数の論文や書籍として発表されている。これに対して、米国でも製造業を中心にIIoT(Industrial IoT)コンソーシアムが2014年に結成され、主として実践に焦点を当てた開発が行われている。

(2) 米国におけるデジタルビジネスの発展

米国のいわゆるメガプラットフォーマーやデジタル技術を活用できるデジタルプラットフォームとビジネスモデルを基盤とするスタートアップの急速な発展がある。たとえば、AmazonのEコマースはあらゆる製品やサービスへと拡大された結果、多くの実店舗が廃業に追い込まれ、デジタル破壊(Digital Disruption)が顕著になっている。スマートフォンを介して顧客と直接接点を持ち、

そのデータを活用したマルチサイド(Multi-Sided)プラットフォームと呼ばれるビジネスモデル、すなわち仲介を実現したスタートアップが出現し、発展した。これらのビジネスは複数の顧客と組織が顧客A-組織-顧客Bのようにエンドツーエンドで結ばれ、リアルタイムに収集したデータに対して機械学習を応用して顧客行動の正確な予測を可能にした。たとえば、Uberでは予約時に目的地への料金と到着時刻を正確に予測して、利用したい顧客に提示することにより、不安を解消している。

マルチサイドプラットフォームは市場などとして古代から社会活動の基盤として存在した。それが、近年、ビジネスモデルの一パターンとして定義され、デジタルプラットフォーム上で新ビジネスの創出に活用されている。

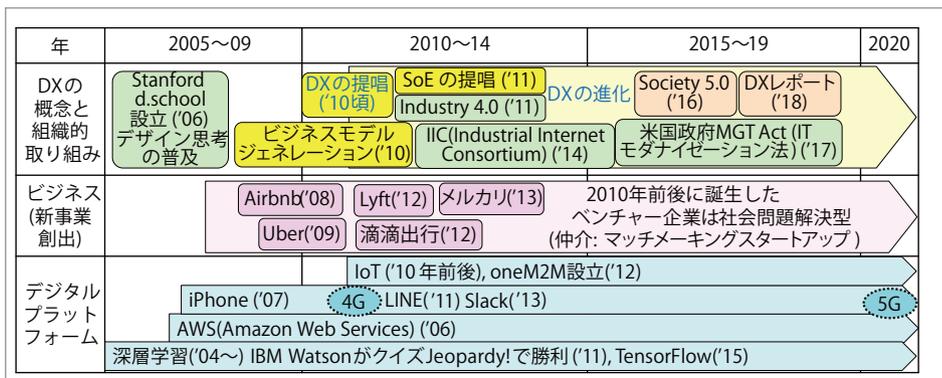
DXのフレームワーク

DXは包括的な概念であることから、それに関与する立場により理解が異なることがある。ここでは、その全体像をDXフレームワークとして示し、その構造に基づきDXの内容を解説する。

DXフレームワーク

DXの主たる対象である次の3つからなるフレームワークを図-3に示す。以降の各節でその内容を説明する。

- (1) ビジネスモデル/業務のデジタル化
- (2) 製品のデジタル化
- (3) プラットフォームのデジタル化



■図-2 DXの発展

プラットフォームのデジタル化

DXではITに代わり「デジタル」を用いる。ITとデジタルの境界は必ずしも明確ではないが、次の点からデジタルを用いている。まず、概念的には、デジタルイゼーションからDXへ至

特集
Special Feature

る共通概念がデジタルであることによる。具体的には、DXの目標(1)で示した、データを活用した価値創出のための情報処理技術を意味している。したがって、DXにおけるデジタルとは図-4に示すように技術とその利用方法の2面から従来のITとの違いがある。

(1) デジタルの利用面

デジタルビジネスを実現するために、顧客行動や機器の稼働データの収集と活用に焦点が当てられている。業務から経営判断に至る組織全体でデータを活用する。このようなアプローチはデータ駆動(Data-Driven)と呼ばれる。

一方、旧来の情報処理システムを含む利用の視点からSoR (Systems of Record)とSoE (Systems of Engagement)の概念が提唱された^{☆4}。SoRとは企業内の記録(Record)を利用し、現行業務の生産性向上を目標とするシステムである。それに対し、SoEは顧客との接点を拡張し、顧客の問題解決を目標とするシステムである。この2つの概念はITとデジタルの利用と対応している。

(2) デジタルの技術面

SoRでは、RDB (Relational Data Base)による構造化データを利用する業務支援アプリケーションやERP (Enterprise Resource Planning)などが技術の中核である。

SoEでは、データ駆動アプローチから顧客や機器のデータ収集のためのWeb、スマートフォン、IoTやデー

タの分析と予測のための機械学習、管理のためのクラウドコンピューティングなどが技術の中核となる。

ここでデータの収集単位が個人や個々の製品/機器である点が重要である。私たち個人や個々の製品のデジタルコピーが生成される。このようなデジタルコピーはデジタルツイン(Digital Twin)と呼ばれている¹⁾。この概念は製造業から他の多くの分野へ広がっている。実世界のデジタイゼーションである。

プラットフォームではこれらの技術が連携する必要がある。そのため、データ配信サービス(DDS: Data Distribution Service)やセキュリティなども統合される必要がある。

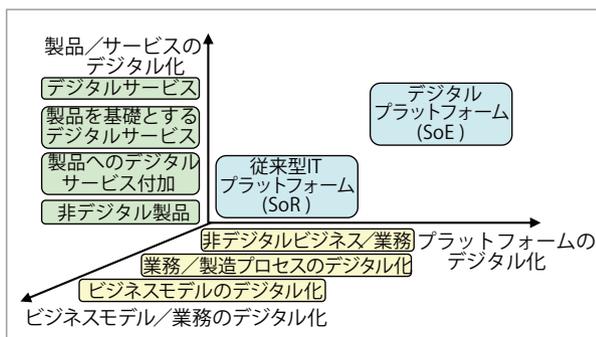
このようなプラットフォーム上でデータを活用して問題解決をするためのソフトウェアを俊敏に開発する必要がある。アジャイル開発、DevOps、サービス指向などとともに顧客の問題発見と解決のために要求工学やデザイン思考、機械学習を組み込んだソフトウェアの開発技術²⁾など、ソフトウェア工学が拡張され、実践されている。要求工学に関しては本特集の位野木氏の解説を参照願いたい。

ビジネスモデルと業務のデジタル化

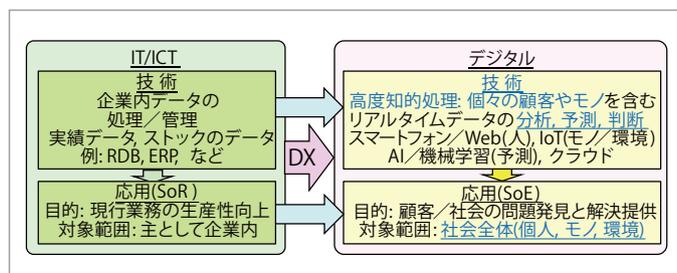
DXにより顧客起点の新たな価値を創出するためには、顧客接点の拡大を図り、顧客データを活用できるビジネスモデルや企業全体の事業構造を実現する必要がある。このような企業全体の事業構造をビジネスアーキテクチャと呼ぶ。図-5はDXによるビジネスアーキテクチャの変革の概念を示す。

現行の多くの企業は機能階層構造をとる。機能を業

☆4 <https://info.aiim.org/systems-of-engagement-and-the-future-of-enterprise-it>



■図-3 DXトライアングルフレームワーク



■図-4 プラットフォームのデジタル化

特集
Special Feature

務として担務する部門が、その業務を支援する個別業務支援アプリケーションやERPを利用して業務を遂行する。

これに対して、図-5の右側にセンス/レスポンス (Sense and Response) と呼ばれるビジネスアーキテクチャ³⁾の概念を示す。顧客データの流れに沿って組織横断的に業務を連携して遂行するデータ駆動ビジネスアーキテクチャの例である。Gotheleらは、現在のように変化が早く、かつ、不確実性の高い環境ではこのビジネスアーキテクチャが適していると主張している³⁾。そのため、センス/レスポンスアーキテクチャはある範囲のデータ駆動ビジネスアーキテクチャの参照アーキテクチャとなる。

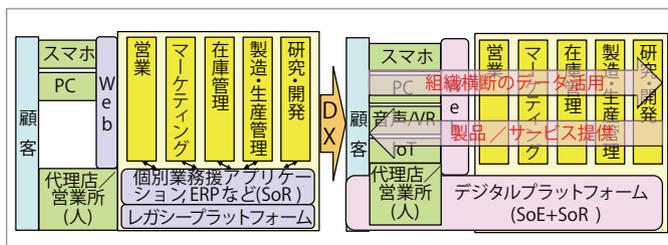
ここで留意すべきは、ビジネスモデルやビジネスアーキテクチャがソフトウェアと同様に工学の対象であることである⁴⁾。

製品/サービスのデジタル化

ビジネスとプラットフォームのアーキテクチャの変革は製品/サービスの変革が目標である。図-6にSchaefferらが示した製品価値創出の源泉の変化 [Fig. 1.1]⁷⁾を筆者が書き直して示す。ここで、デジタル技術とは機械学習、音声アシスト、自然言語処理、ビッグデータの収集と処理技術などを指す。

このような変化は多くの製品で見られる。

たとえば、自動車産業では主要なイノベーションとしてCASE (Connectivity, Autonomous driving, Sharing, and Electric drive systems) が2016年に提唱されている。コネクティビティとは自動車がインターネットに常時接続されてデータ収集とサービス提供が可能となり、顧客接点が拡大する。自動化では、先進



■図-5 機能別アーキテクチャからセンス/レスポンスアーキテクチャへ

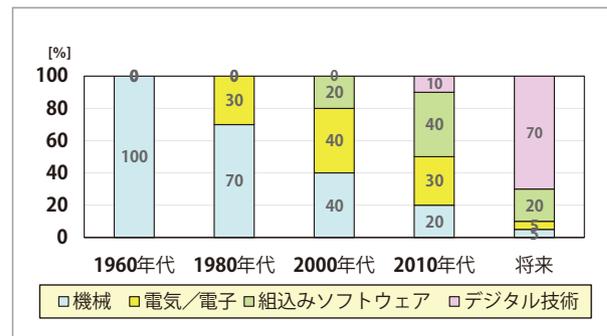
運転支援システム (ADAS: Advanced Driver Assistance System) などで機械学習が応用されている。今後、自動運転を実現するために、スマートフォンのアプリケーションの更新と同様 OTA (Over The Air) を利用したソフトウェア更新が拡大する。さらに、自動車をプラットフォームとする移動サービスとして MaaS (Mobility as a Service) が展開されている。このサービスでは定額で一定期間利用できるサブスクリプションビジネスモデルが適用されている。

このような製品/サービスの実現にはそれを提供する企業のビジネスアーキテクチャの変革も必要となる。この結果、自動車産業が製造業から情報サービス業へ進出する⁵⁾。デジタル産業革命と呼ばれる所以である。

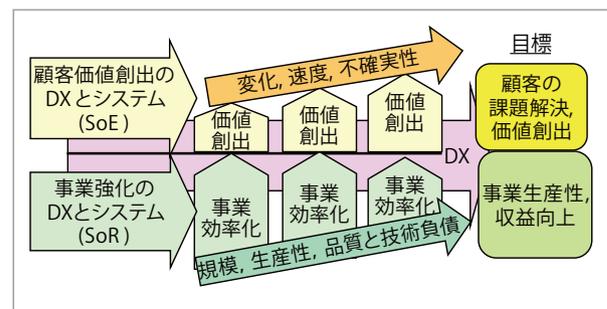
DX 推進モデルとアプローチ

DX 推進モデル

DXの推進には組織変革とともにプラットフォームと製品の変革という多面的な推進が必要となる。しかし、現実には既存の製品やサービスのビジネスも継続する



■図-6 製品価値創出の源泉変化 [文献 20] Fig. 1.1 より]



■図-7 DX 推進モデル

特集
Special Feature

必要もある。DXの目標で示したDXの2つの目標に基づき、DXの推進は図-7に示す2つの変革を同時並行に推進する必要があるといえる。O'Reilly IIIらは米国企業におけるイノベーションの事例研究からこのような二面的アプローチの重要性を指摘している⁶⁾。

ここで留意すべきは顧客の問題解決による価値創出と既存事業の生産性向上は性質が異なることである。価値創出にはPoC (Proof of Concept)などを手段とし、変化と速度を重視し、不確実性に対して失敗からフィードバックする意思決定や組織文化が必要である。既存事業の改善では、ソフトウェアの規模や品質の問題に対応し、生産性向上とともに後述する技術的負債の軽減も必要となる。

三位一体のDX推進アプローチ

図-7に示したDXの推進は組織全体で行う必要がある。DXの成功事例を組織の視点から見ると、経営者、事業部門、IT/デジタル部門が協調して推進する成功パターンが見られる。筆者はこれを図-8に示す三位一体のDX推進アプローチと呼んでいる²⁾。さらに、これを

支えるのが人材と企業文化の変革である。これに関しては本特集の筆者による別稿を参照願いたい。また、従来のITベンダにはデジタルベンダとしてデジタル技術の提供や事業変革のコンサルティングが求められる。

DXを推進するために6段階の目標を定義したDX推進指標が公開されている⁵⁾。この指標も経営、業務、IT/デジタル、人材育成/企業文化の4つの軸で目標を設定している。詳細は本特集の和泉氏らの解説と岡村氏らの解説を参照願いたい。

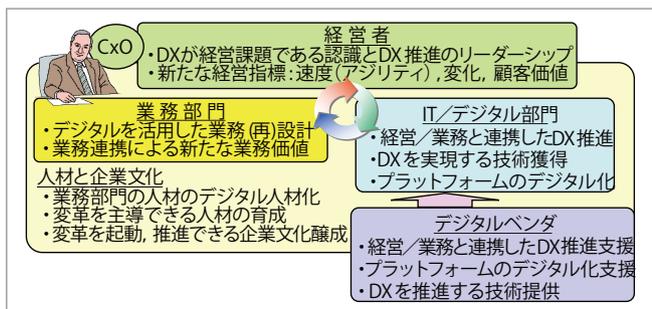
デジタルプラットフォームとその課題

デジタルプラットフォームの展開

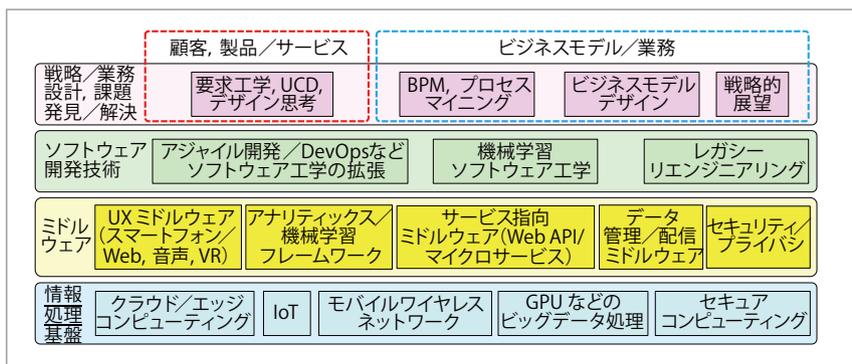
デジタルプラットフォームとは図-3に示したプラットフォームのデジタル化である⁸⁾。デジタルプラットフォーム上に統合されるのは、情報処理技術に加え、それを利用してビジネスモデル/業務、製品/サービスのデジタル化を実現するためのソフトウェア工学などの諸技術である。これをビジネスモデル/業務、製品/サービスとともに抽象化の軸に沿って図-9に示す。

デジタルプラットフォームの役割は、DXの目標(1)の価値創出を実現するサービスや機能の提供にある。一方、DXの目標(2)として現行業務の遂行支援もある。

これらのハードウェア、ソフトウェア、技術を1つの組織が提供することは困難である。優れたソフトウェアがOSS (Open Source Software)として提供されている。図-8に示すデジタルベンダにはこのような多様なソフトウェアや技術を適切に統合して提供する役



■図-8 三位一体のDX推進アプローチ



■図-9 デジタルプラットフォームと技術

割が期待される。

技術的負債がもたらす課題

技術的負債 (Technical Debt) とは不適切な技術により開発されたソフトウェアがそれを適切なソフトウェアとするために必要とするコストである⁹⁾。ソフトウェア工学の概念として提案された。

我が国では、業務支援アプリケーションが現行業務の効率化に主眼が置かれ、企業ごとに個別に開発されてきた。ERPも我が国では現行業務に適合するように導入コストの約75%がカスタマイズに費やされてきた。一方、海外企業では10～25%にとどまっている¹⁰⁾。カスタマイズはその機能の維持に多くの費用を費やし、業務の変更や新技術の導入などを妨げる一因ともなる。DX推進の最大の技術課題であるといえる。このため、レガシーシステムのリエンジニアリングの研究開発が行われている。具体例は本特集の松尾氏の解説を参照願いたい。

データ活用技術

これまでの説明においてDXにおけるデータ活用の

重要性を指摘してきた

顧客の行動データの活用には多くの課題がある。デジタルプラットフォームの中で、データの収集から利用へ至るパイプラインに沿って主要な技術を抽出して図-10に示す。

データ収集技術ではLiDAR (Light Detection and Ranging) を用いて工場内をまるごとデジタルツイン化するシステムなどが開発、提供されている。自動運転分野では3次元高精細度ダイナミック地図が開発、提供されている。静的な地図上に交通情報や工事、規制、天候などの動的データを重ね合わせ、さまざまなサービスのデジタルプラットフォームとなる。

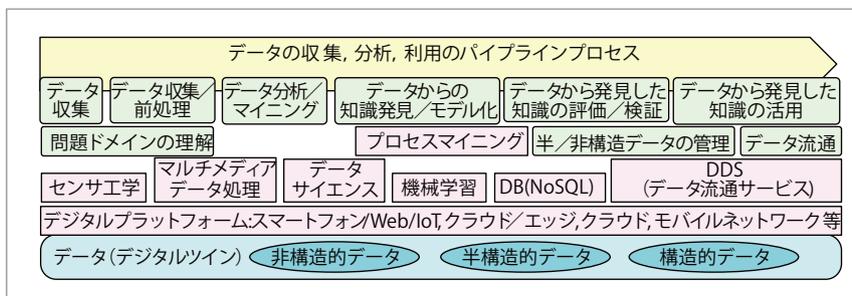
データからの知識やモデルの発見技術では機械学習の研究開発が活発である。機械学習のアルゴリズムの研究も重要であるが、それを組み込んだソフトウェアには従来のソフトウェアとは異なる課題があり、その開発技術の研究と開発が求められる。

データ駆動アプローチに基づきデータを活用する対象は社会全体に広がっている。研究開発の課題は多い。

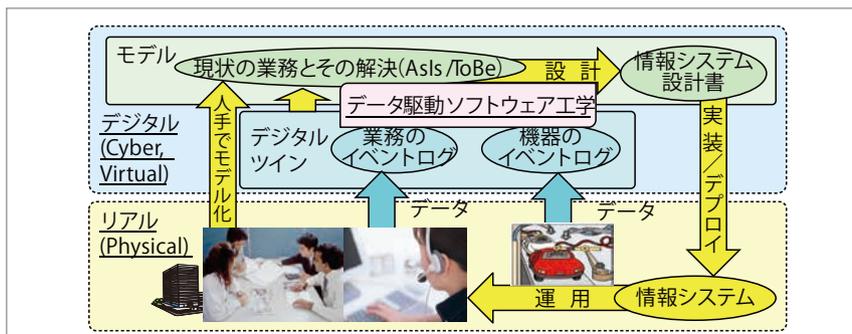
データ駆動工学：デジタルがもたらす新たな研究開発パラダイム

DXの中核概念であるデータ駆動アプローチは研究における新たなパラダイムを創出している。データ駆動科学(Data-Driven Science)、データ駆動工学 (Data-Driven Engineering) である¹¹⁾。筆者の研究分野の例としては、データ駆動ソフトウェア工学、データ駆動要求工学である。このパラダイムについて筆者が考えている研究の構造を図-11に示す。

ソフトウェア工学を含めて従来の工学では問題のコンテキスト (対象範囲) を限定することにより、人に



■図-10 データ活用デジタルプラットフォーム



■図-11 データ駆動ソフトウェア工学

よるモデル化を可能としてきた。対象範囲内のインスタンス（この場合は個人）として教師 A と教師 B がいると、その共通属性から教師というモデルを得る。モデル化では対象範囲内の関心のある情報を取り出す抽象化とともにその範囲内での一般化と表現の形式化が行われる。

このモデルがすべての基礎である。

それに対して、データ駆動では、収集したデータからデジタルツインが生成される。これはモデルではなくインスタンスである。インスタンスを基礎とすることは、これまでの研究の基礎とは異なる。新たな研究パラダイムといえる。

たとえば、プロセスマイニングはある業務や機器の実行イベントログを入力として、その実行プロセスのグラフ表現を生成する¹²⁾。ここで、表現の変換と形式化は行われるが、振舞いの抽象化は限定的で一般化は行われていない。

機械学習は画像などのインスタンスの集合から学習によりパターンとしてのモデルを生成すると解釈できる。しかし、データを収集する対象のコンテキストは閉じているとはいえない。人の行動が変わればデータも変わる。実際に、機械学習を組込んだ400以上のアプリケーションの34%でコンセプトドリフトが発生しているとの報告がある²⁾。このようなソフトウェアを開発する新たな方法論が求められる。

データ駆動アプローチは科学、工学における新たな研究パラダイムとして従来の研究パラダイムの拡張といえる。情報処理のあらゆる分野における新たな研究の機会としてデータ駆動アプローチに関心を持っていただきたい。

DX がもたらす新たな研究開発の機会

DX の必要性が社会全体で認識されるようになってきている。このような現状に対して、デジタルによる社会問題の解決のために、情報処理の研究、開発、実践が

ますます必要、かつ、重要となっている。

自動車業界では「100年に一度の、死ぬか生きるかの大変革の時代」との認識が広がっている。これは、私たち情報処理の研究者、技術者には「100年に一度の研究開発の機会」と捉えることができるのではないか？ DX が提起する課題を起点として、皆様が新たな研究開発へ挑戦されることを期待する。

参考文献

- 1) Grieves, M. et al. : Digital Twin : Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems, Kahlen, F. -J. et al. (Eds) : Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, Springer, pp.85-113 (2017).
- 2) 青山幹雄:ソフトウェア工学基礎から機械学習ソフトウェア工学基礎への考察,ソフトウェア工学の基礎 XXVI, 日本ソフトウェア科学会/近代科学社, pp.139-144 (Nov. 2019).
- 3) Gothelf, J. et al. : Sense and Response, HBR Press (2017).
- 4) 青山幹雄:ビジネス要求工学の展望, 電子情報通信学会研究報告ソフトウェアインタプライズモデリング, Vol.SWIM2014, No.1, pp.1-6 (May 2014).
- 5) 青山幹雄:我が国自動車産業のDX(デジタルトランスフォーメーション)に関する考察, 2020年春季大会学術講演会予稿集, No.238, 自動車技術会, pp.1-6 (May 2020).
- 7) Schaeffer, E. et al.: Reinventing the Product: How to Transform Your Business and Create Value in the Digital Age, Kogan Page (2019) [河野真一郎(監訳):ものづくり「超」革命, 日経BP (2019)].
- 8) M. de Reuver et al. : The Digital Platform: A Research Agenda, J. of Information Technology, Vol.33, pp.124-135 (Jun. 2018).
- 9) Kruchten, P. et al. : Managing Technical Debt, Addison-Wesley (2019).
- 10) 村田聡一郎(監修):Why Digital Matters?, プレジデント社 (2018).
- 11) Brunton, S. L. et al. : Data-Driven Science and Engineering, Cambridge University Press (2019).
- 12) W. M. P. van der Aalst : Process Mining, 2nd ed., Springer (2016) [青山幹雄(監訳), プロセスマイニング, インプレス, 2019].

(2020年8月19日受付)

■青山幹雄(正会員) mikio.aoyama@nifty.com

南山大学理工学部ソフトウェア工学科教授、博士(工学)。ソフトウェア工学、要求工学、機械学習を Web ソフトウェア、自動車ソフトウェアなどを対象に研究と教育に従事。2018年経済産業省「DXに向けた研究会」座長。