

R2-J006

CAMBRIC-2021 ～DXのその先へ～

2021 年 5 月

一般社団法人 情報サービス産業協会

目 次

1. 活動の要旨	1
1.1 はじめに	1
1.2 活動の進め方について	2
2 CAMBRIC について	4
2.1 CAMBRIC とは	4
2.2 歴史的な視点での CAMBRIC	7
2.3 現在における CAMBRIC	10
2.4 将来への対応 CAMBRIC がどう役に立つのか	19
3 CAMBRIC 周期表	22
3.1 CAMBRIC 周期表検討の進め方について	22
3.2 CAMBRIC 周期表について	23
3.3 周期表活用方法について	26
4 CAMBRIC 各要素について	28
4.1 クラウドコンピューティング	28
4.2 AI	37
4.3 モビリティ	42
4.4 ビッグデータ	49
4.5 ロボティクス	55
4.6 IoT	62
4.7 サイバーセキュリティ	71
5. まとめ	78
6. 参考資料	80

令和2年度 技術革新部会 委員名簿

部会長	端山 毅	(株)NTTデータ	技術革新統括本部 企画部 テクノロジー・ストラテジスト
	堀田 大介	(株)アイ・エス・ビー	サービスプラットフォーム推進部 課長
	三宅 博文	NECソリューションイノベータ(株)	デジタルソリューション事業部・ シニアプロフェッショナル
	高見 康	エヌ・ティ・ティ・コムウェア(株)	技術企画部 技術SE部門長
	田中 雅人	(株)NTTデータ	戦略統括本部事業戦略室企画調査担当 課長
	菊池 修	NTTテクノクロス(株)	セキュアシステム事業部 第一ビジネスユニットアシスタント マネージャー
	室井 明	(株)システムシェアード	専務取締役
	中里 幸雄	SOMPO システムズ(株)	常務執行役員 デジタルトランスフォーメーション本部長
	小久保 隆	東芝デジタルソリューションズ(株)	ソフトウェア&AIテクノロジーセンター 参事
	古畑 彰夫	東芝デジタルソリューションズ(株)	ソフトウェアシステム技術開発センター コアテクノロジー開発部 知識・メディア処 理技術開発担当 エキスパート
	伊藤 春男	(株)フジミック	社長室企画部 シニアアドバイザー
事務局	大原 道雄	(一社)情報サービス産業協会	事業推進本部 課長

(2021年4月末時点)

1. 活動の要旨

1.1 はじめに

デジタル技術の発展によって社会は大きな変革期にある。クラウドコンピューティング, AI, IoT などデジタル技術の活用によって提供価値の向上や競争力の強化が可能になると同時に、多くの企業や組織が変革を迫られている。技術に駆動された変革ではあるが、情報サービス産業内の変化にとどまらず全産業、社会全体にわたる歴史的な変化が生じている。そのような状況の中で情報システムの重要性がさらに高まるとともに、情報システムの位置づけや役割、求められる機能も大きく変化している。

情報サービス産業は、適切な技術を提供してユーザー企業のニーズに応え、ユーザー企業の問題解決に貢献する使命を有する。利用可能な技術の選択肢が増え、様々な分野で従来不可能であったことが可能になりつつある。顧客の事業内容に踏み込み、多様な技術を組み合わせることで解決策を実現するために、専門技術を有する適切なパートナーと協力することも求められる。

新たに登場する技術を調査し、その将来性を評価しつつ、問題解決への適用に挑戦するという技術起点の取り組みも重要である。従来はできなかったことが、安価に容易にできるようになっていることに気づかないでいると、自組織の存在価値を失い市場から退場を求められる可能性もある。SDGs やコロナ禍のように社会的要請から、機敏な対応を求められる場面も多い。対処すべき問題を明確化し、トップダウンに解決策を規定してゴールを目指す目的指向の行動様式も重要であるが、技術的に何が容易で何が困難なのか理解せずに手段を先に選定することは、非効率であり狙った効果を上げられないことも多い。

災害時対応やパンデミック対策において、利用可能な技術を熟知した専門家が、何が可能か見切った上で手段を実装することで、素早く有用な解決策を提供することがある。そのような迅速な対応を見て、必要な要件や機能を専門家に示すことで緊急対策が実現できると期待すると失敗する可能性が高い。平時のように業務の専門家が要件を規定し、その分析によって必要な機能を抽出し、技術的専門家に設計、実装を任せるというプロセスは必ずしも機能しない。技術を固定してできることを実現するから迅速な提供が可能になる。例えば、注文住宅なのか、プレハブ住宅なのか、建売住宅なのか、実現手段の制約と得失を理解した上で利用することが真の問題解決への近道である。

昨今の新技術の活用においても同様のことが言える。既存技術の特性を理解し、その特長を活かすように実装すれば、素早く巧妙なことが実現できる。利用する技術に合わせて取り組む問題の見方を変え、スコープや制約条件を調整することで、価値ある解決策にたどり着ける場合もある。一方で野心的な目標を達成するために粘り強く技術を改良したり、基礎研究から積み上げて新技術を創出したりするアプローチもありえる。そのような場合は、今でできることにとらわれず、技術の将来性を見通し、他の技術との組み合わせや社会環境の変化をも視野に入れた粘り強い取り組みも必要になる。

健全な情報化社会の発展に貢献するという情報サービス産業協会の使命に鑑みて、新たな技術を理解し、評価し、使いこなして提供していく義務がある。ただし、多様な技術が急速に進歩拡大しており、その組み合わせで可能になることも多岐にわたるので、一人ですべてを理解することはできない。まず大掴みに全体を俯瞰し、各要素の現状と将来性について理解を深めて、自身で注力する領域や組織として付加価値を高める方策を見出す必要がある。

本稿では、Cloud Computing, AI, Mobility, Big Data, Robotics, IoT, Cyber Security の 7 領域(CAMBRIC：キャンブリック)に焦点を当て、それらの現状と動向、将来性を分析し、7 領域それぞれにおいて重要と考えられる技術について検討を加えた。ここで取り上げた技術の詳細については、それぞれ専門の情報源にあたって習得して頂く必要があるが、入門的な情報から先進的な情報に至るように順序立てて説明し、知識や経験の異なる読者にも広くお役立て頂くことを想定している。また、現実の応用場面では 7 領域の技術をいくつも組み合わせる必要があり、今後より高度な応用も見込まれるので、技術間の相互関係についても分析を加えている。

本稿では、デジタルトランスフォーメーションの本格展開に向けて避けては通れない技術の多くを取り上げた。各領域を専門とする方々には自明のことも多々含まれているが、全体を俯瞰し、各領域における課題を認識し、他の技術との組み合わせによる新たな応用や発展を思い描く材料としてご活用頂きたい。会員各位及びお客様企業における新技術の積極活用に役立てば幸いである。

1.2 活動の進め方について

当部会は、2019 年度からの 2 カ年で活動している。最新のデジタル要素として CAMBRIC という技術群に着目し、CAMBRIC の 7 要素の現状、可能性、課題に加えて、それらの相互関係や連携を検討して、新たな価値創出の可能性を明らかにすることを目標として設置された。CAMBRIC については 2 章で詳しく説明する。

活動の進め方では、初年度は個別テーマに対する理解、情報収集に軸足を置き、次年度に、技術の進展の可能性について検討を深めレポートに取りまとめることとした。なお、議論した各回のテーマは以下の通りである。

2019 年 10 月 11 日	アジャイルワークスタイルやアジャイル開発についての取り組みについて
2019 年 11 月 6 日	・無線技術、IoT 技術について ・システムズエンジニアリングについて
2019 年 12 月 5 日	・スマートシティについて ・モビリティ、VR について ・AI 白書 2020(情報処理推進機構)についての紹介 講演者：西原 栄太郎様(独立行政法人 情報処理推進機構)

2020 年 1 月 16 日	・ ヒトと AI のつきあい方 ・ AI の適用事例について
2020 年 2 月 12 日	・ AI 開発事例の紹介 ・ クラウドコンピューティングの概要
2020 年 4 月 6 日	・ DX と CAMBRIC の関係について ・ CAMBRIC それぞれの要素間の関係について
2020 年 6 月 16 日	・ 教育ビジネスにおける CAMBRIC の活用事例 ・ 放送ビジネスにおける CAMBRIC の活用事例 ・ AI に関するビジネスにおける CAMBRIC の相関について

以後、技術の進展状況を可視化する目的で CAMBRIC 周期表の作成にも取り掛かった。
4 段階の進捗度合いにおいて必要となる要素技術を整理することで、各段階において取り掛かるべき技術やサービスを提示している。詳細は 3 章を参照して欲しい。

2 CAMBRIC について

近年、産業構造や社会における変革をもたらしている技術とその影響を理解し、将来に向けた対応を検討する上では、影響力のある一連の技術を集合として認識する必要がある。本稿では、CAMBRIC（キャンブリック）という 7 つの技術に焦点を当てるが、この技術群に注目することにした背景を説明する。

2.1 CAMBRIC とは

2015 年 9 月に Robert Gourley 氏(Cognitio 社)が Twitter で重要なトレンドとして CAMBRIC を取り上げ、翌月に ActiveCyber.net に解説記事が掲載されて関心を集めた。同氏は、アメリカの統合参謀本部で Joint Task Force on Computer Network Defense (JTF-CND)初代局長(1998)を務めた。TRW や Northrop Grumman など民間企業で要職を務めた後、政府機関に戻り DIA(Defense Intelligence Agency: アメリカ国防情報局)の CTO に就いた。その後コンサルタントとして情報発信しており、情報セキュリティ対策を中心に技術も含めた高度な見識が認められている。冒頭の Twitter で CAMBRIC¹とつぶやき、

Cloud Computing

AI

Mobility

Big Data

Robotics

IoT

Cybersecurity

の 7 つの技術に注目すべきと訴えた。その語感や紹介方法も巧妙であった。

2016 年 5 月に公開された 25 枚のスライド”The Seven Megatrends of Cambric” [1]が網羅的かつ簡潔に CAMBRIC を解説している。その後も CTOvision などでも連載記事が掲載された。この過程で Mobility は、VR や AR を包含するようになった。

CAMBRIC は大きな技術的トレンドを取り上げており、特定の企業や個別の製品にとらわれることなく、将来を見据えた重要な観点を提供している。昨今の産業や社会に影響を与えている変化は、単一の技術というよりも相互依存関係のある複数の技術が連動して現実化していることが多い。ひとつひとつの技術に着目することも重要であるが、本格的な普及拡大の姿を推定するには、複数技術の組み合わせによって生じる効果を意識する必要がある。そのような組み合わせによって発生する問題にも注意を払わなければならない。多くの場合、新しい技術の適用拡大や効果的な利用には、情報セキュリティが重大な障壁になってくる。併せて倫理、独占、犯罪、雇用などの課題についても配慮する必要がある。

Gourley 氏の提起は、単なる技術紹介にとどまらず、状況を俯瞰して有望な可能性を示す

¹ 元々 Cambric は織物の種類で、Chambray というフランスの地域で作られた薄手の綿織物。

と同時に、多面的な視点から実用化と普及拡大に向けた課題や障壁も整理している。技術的な潮流を見据え、今後の対応を考える上で多くの示唆を与えてくれる。

”The Seven Megatrends of Cambric”では、以下に示すように 7 つの技術に対して、それぞれ現状、将来性、課題を挙げている。2016 年時点での主張であり、必ずしも網羅的な情報ではないが、重要な指摘を含んでいる。

1) クラウドコンピューティング

【現状】 大規模クラウド事業者によるコストダウン、セキュリティ確保が進んでいる。アジリティが高まり、集中と分散の最適化が進む。

【将来像】 様々な機能がローコストで利用可能。どこでも使えるストレージ。

【課題】 寡占化。利用者の囲い込み。データ所在地規制。

2) AI

【現状】 クラウドコンピューティングとの親和性が高い。
試行錯誤の発展途上にあり、判断誤りも発生し、判断根拠が分かりにくい。
またセキュリティ対策も確立していない。

【将来像】 コンピュータが人間を支える。

【課題】 雇用を奪う可能性、悪用の可能性、狭量な判断の可能性(Microsoft Tay)に注意が必要。セキュリティ対策の強化。

3) モビリティ(VR, AR)

【現状】 携帯端末からスーパーコンピュータのパワーを使えるので、用途が急拡大中。
携帯端末を持ったユーザーと従業員ができることが拡大し、それは脅威にもなる。

【将来像】 すべての人がつながる。文化の変容。

【課題】 プライバシー。独裁者との対峙。企業や教育はどう変わるのか。

4) ビッグデータ

【現状】 1 兆個のセンサ配備。スケーラブルなアプローチが発展する。倫理、プライバシー、セキュリティの重要性が増大。

【将来像】 どこでも分析。処理能力以上にデータが増大する。

【課題】 倫理的フレームワーク。誰を信頼すればよいのか。行動解析の効能（サービス向上、セキュリティ対策）

5) ロボティクス

【現状】 海外移転した工場の先進国回帰。危険な作業、単調な作業での活用が進む。

【将来像】 ロボット化した車、トラック、船、作業員、パートナー

【課題】 セキュリティ問題。倫理。雇用問題。異常行動の検知。ロボットが騙されないか。

6) IoT

【現状】 自動車、ロボット、家、街、都市、商店街、工場など産業のすべての面に影

響する。教育、訓練、安全、セキュリティ、医療、運輸、生産など多様な領域で活用され、最適化が進む。

【将来像】すべてのものがつながり、生活のあらゆる面に及ぶ。

【課題】 セキュリティ問題。犯罪者もつながる。未利用プロセッサの利用。

7) サイバーセキュリティ

【現状】 努力しているが機能していない。サイバーセキュリティが発展しないと、他のいかなる技術も使えない。対策によって複雑さが増してしまう。行動解析の重要性が増している

【将来像】誰も一人では自分を守れない（今も将来も変わらない）。

【課題】 破滅に向かって進んでいるのか。システムは誤魔化しやすくならないか。自らを守りきれぬのか。行動解析はどこまで通用するか。

2.1.1 7つの技術の相乗効果

CAMBRIC に注目することの重要性は、現在進行中の変化が単一の技術によって引き起こされているのではなく、複数の技術の同時並行的な発展、及びそれらの相互依存関係と相乗効果によってもたらされている点にある。多数のセンサや機器で発生するデータを収集し、分析し、利用するという一連の流れの中で、IoT、Big Data、Cloud Computing、AI が相互に依存し、またそれぞれの発展を促進している。その概念的な関係を図 1 に示す。

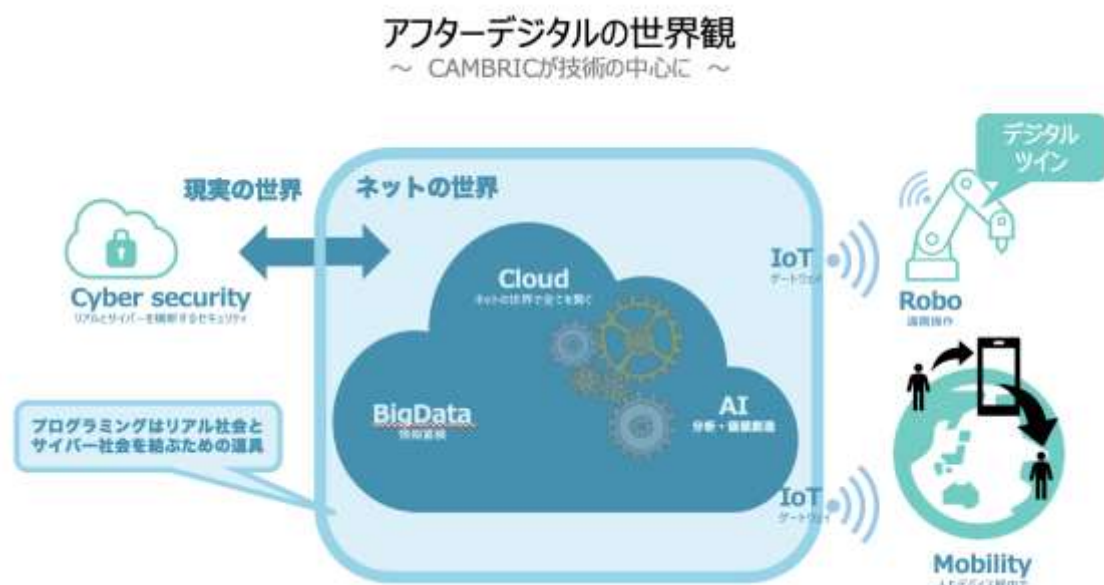


図 1 アフターデジタルの世界観

これらの技術がネットワーク上で実現され、接続されていることが急速な発展の原動力

になっている。通信技術や半導体技術の発展がその土台になっており、5Gに代表されるような通信技術の発展により更なる変革がもたらされることが予想できる。

単に機械やコンピュータが接続されるだけでなく、モバイル端末や膨大な数のセンサが人間をコンピュータネットワークの中に取り込みつつある。人間は、コンピュータネットワークを利用することで自らの能力を強化しているが、同時にコンピュータネットワークを通じて他者に観察、利用されてもいる。

このような相互依存関係の中でサイバーセキュリティが本質的な問題になっており、適切な対応がとられなければ、多くの技術のメリットを活かすことができない。CAMBRICは、CAMBRIという6つの技術領域と、共通基盤的なサイバーセキュリティという関係であり、CAMBRI+Cととらえることもできる。

2.2 歴史的な視点での CAMBRIC

近年 CAMBRIC で示される一連の技術群に焦点があたっている背景に注目する必要がある、それを歴史の流れの中でとらえることが重要である。我々が生活する資本主義社会では、労働力が新たな付加価値を作り出してきたが、歴史を振り返ると、技術的なイノベーションが労働力を変質させ社会的な変化を引き起こしてきた。この延長線上でイノベーションを推し進め新たな社会を作り出す技術の総称が CAMBRIC であるとも考えられる。

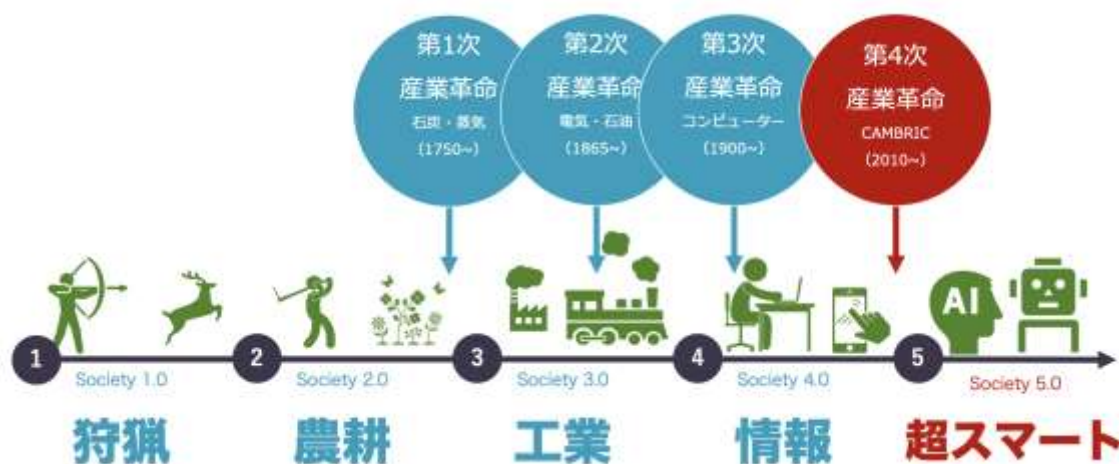


図 2 産業革命の歴史（技術の進化が起こす社会の変化）

出所：内閣府 Society5.0 [2]より引用し筆者作成

近代産業の始まりになった第一次産業革命は 18 世紀初頭にイギリスを中心に始まった。産業革命前までは、あらゆるものは人の手作業で作られていたが、石炭をエネルギーとした蒸気機関が生まれたことにより、軽工業の機械化が進み、大量生産の時代に突入した。

この時代に紡績機、織機、鉄道、蒸気船などが発展した。その後しばらく時代が流れ、

19 世紀後半にアメリカやドイツで第二次産業革命が始まり、重工業の発展が始まった。産業が軽工業から重工業中心へと変化し始めた。

ここで注目すべきは、産業革命発祥の地であるイギリスではなく、他国で重工業が発展したことである。



図 3 産業革命の広がり

先に軽工業が発達したイギリスが重工業化するためには 既存の資源や設備を手放し、新たな領域に積極的な投資を行う必要があった。イギリスでは既得権を持った資本家が変わらずに時代の変化に乗り遅れる一方、軽工業で出遅れた国々が新たな技術を利用して重化学工業を発展させた。現代に生きる我々は、過去に起きた社会の変化から、変化の重要性を認識し、変化に向き合う方策を学ぶことができる。

20 世紀に入り二つの世界大戦を経て、コンピュータの技術が実用化され、当初は軍事利用や一部大学での科学技術計算に利用されていたが、徐々に民間へと広がり始めた。1970 年代に入ると産業界でのコンピュータ活用が拡大し、情報化社会、脱工業化社会などと言われるようになった。1980 年代に入りパーソナルコンピュータが登場し、1990 年代に入るとインターネットが商用化され、1990 年代後半に急速に拡大した。ゲーム機や携帯電話など、生活の中にデジタル技術が浸透し始めた。21 世紀に入ってブロードバンド接続が一般家庭にも普及し始め、さらにスマートフォンによって個人が常時ブロードバンド接続されることになった。1980 年代に音楽レコードはコンパクトディスクに置き換えられたが、21 世紀に入ると音楽配信サービスに席捲され、音楽ビジネスの構造自体がデジタル化の進展とともに大転換を余儀なくされた。

近年では、個人がスマートフォンなど可搬型コンピュータを介してインターネット上の情報と計算機パワーを利用するだけでなく、様々なデバイスがインターネットに接続されて自動的に取得、伝達、蓄積、分析される情報が増大している。例えば、コロナ禍において携帯電話の位置情報が混雑状況の把握に利用されている。このように大量に取得された情報から、暗黙知の情報を可視化できるようにもなってきた。現在、我々の周りには、暗黙知の情報が大きく分けて 2 種類あると言われている。一つは人間そのものが持つ未使用情報（バイタルデータなど）であり、もう一つは人間の外部にある未使用情報（IoT で物から取得）である。この二つを合わせて IoE（Internet of Everything）と総称される。

今後、そのような様々な データがビックデータとして蓄積され、人の代わりに AI が分析し、新たな価値発見のツールとなっていくことが期待される。今後は、獲得された膨大なデータを資源と見なし、そこから社会的な価値を創出する競争が盛んになっていくことだろう。現在、ビックデータは既に GAF A が独占しているようにも見えるが、仮に 20 年後から現在を振り返れば、価値を見出されていない情報が無尽蔵に散らばるブルーオーシャンに見えるのではないだろうか。

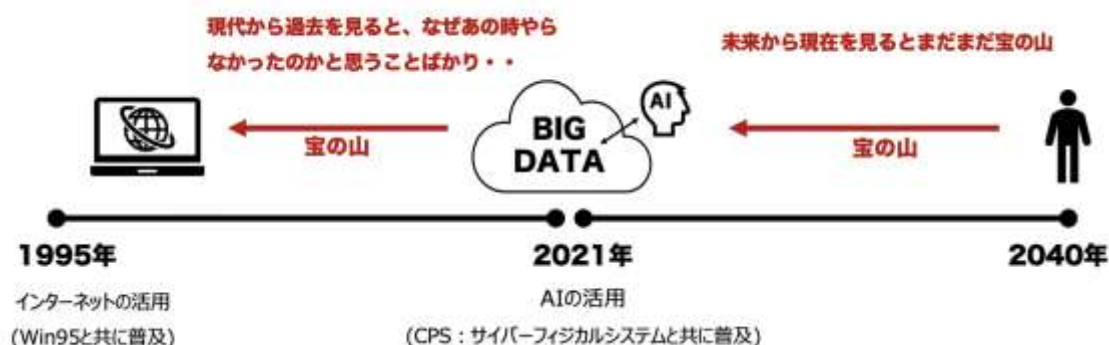


図 4 過去、現在、未来の視点

我々は、様々なデータから未だ気づかれていない価値を発掘する時代に突入しつつあり、過去の歴史から学び、今という時代を的確に認識をすることにより、これから進む道を見定める必要がある。CAMBRIC は現実世界とサイバー空間をつなぎ、データを生み出し加工するための重要な技術群である。石油の存在は紀元前から知られていたが、過去の人たちは 19 世紀半ばまでその価値に気づけなかった。時代の変化とそこに隠された大きなチャンスを見逃さないように、勃興する重要技術と向き合い、その可能性と影響力に目を向けることが産業人に求められる。

2.3 現在における CAMBRIC

2.3.1 教育ビジネスに関する CAMBRIC の活用事例

デジタル化の進展は、教育に大きな影響を及ぼすと同時に、教育が社会のデジタル化を推進することも期待されるので、CAMBRIC の動向を考える上で、教育は非常に重要なテーマである。社会が変化するときには、教育の内容や方法も変化させて新たな時代に適応する必要がある。

石油危機以降、大量生産・大量消費に対する批判が高まり、個性への関心が高まった。平成元年の学習指導要領で「個性を生かす教育の充実」が謳われ、ヒトゲノム計画が完了した2003年頃には個別化医療が注目され始めた。一方でデフレ経済の中で、100円ショップやファストファッションが隆盛を誇り、大量生産の低価格品で済ます領域と、拘りを持って情報収集し嗜好にあった製品を追い求める領域を人それぞれに使い分けるようになってきた。

均一な商品を大量に売りさばくためには、マジョリティのニーズを把握する必要がある。高い付加価値を追求するには、個別ニーズを深く掘り下げて理解しなければならない。どちらの場合もデータ活用がカギになる。POSシステムは1990年代から広く使われているが、ポイントカードによるデータ収集に加えて、インターネット、そしてスマートフォンが一般化することで、消費者の行動について大量かつ多角的なデータが利用可能になった。そこに統計解析手法やAI手法が高度化し、CPUもメモリも低廉化してクラウドサービスが利用できるようになり、ビッグデータ解析が容易になった。大量のデータから有益な客観的情報を導き出し、企画、生産、流通、販売といった経済活動の局面で利用することが可能になった。同時にその優劣が企業の競争力に大きく影響することにもなった。このような競争に立ち向かえる知識や技能を有する人や、独自の視点や観点から物事を見られる個性的な人が求められる時代となった。

一律な答えのない課題に挑戦するためには、多様な人々の共創が重要になる。教育の焦点が、決められた作業を効率的に処理できる人を多数輩出することよりも、他の人にできない技能を有する人や、個性的な発想ができる人を見出し、触発し、伸ばしていくことに遷移してきた。したがって、均質な人たちが場所と時間を共有することが必須ではなくなった。異なる背景を持った人々がそれぞれに合った手段やタイミングで学習する必要性が高まっている。つまり、教育自体も個人のニーズに合わせた個別化が重要になってきた。これからの教育は、時間や場所を選ばず自分の環境や生活に合わせて学べる方法が充実していくだろう。

既に様々な知識やテクニックを解説する動画がインターネット上に多数公開されている。多くの人が関心を持つテーマについては大抵関連動画が登録されていると言っても過言ではない。さらに一般的な学校教育の教科について解説する動画は、有料サービスとして提供されるものもあれば、無料で一般公開されているものもある。大学や予備校など様々な教育機関が教育手段として、また宣伝の手段として映像利用を拡大している。

このような潮流は数年来徐々に拡大してきていたが、コロナ禍で対面授業が制約を受け

る中、この一年で急速に拡大した。多くの人が苦勞し、混乱した部分もあるが、タブレット端末等の配備が進み、情報の送り手と受け手の双方が経験を蓄積したことは事実である。ライブ放送形式の授業もあれば、オンデマンド形式で映像を配信する場合もあり、多くの人々が機器の操作に慣れ、様々なツールや開催形式の存在を理解しつつある。この間に社会が獲得した無形の知識資産は莫大なものがある。コロナ禍が収まっても、適材適所でモバイル端末や電子教材が利用され、リモート授業やリモートセミナー等が対面形式の活動と併用されていくことになるだろう。遠隔地から容易に参加でき、移動時間を節約し、会場の定員を気にせず開催できるなど、多くの利点を実感された。

これらの変化が短期間に進展した背景には、Web 会議や Webinar、映像配信サービスなどの実現にクラウドサービスが利用されていたことがある。急激に増大した需要に対して容量を拡大することが比較的容易であった。さらにニーズに合わせて様々なクラウド上のアプリケーションサービスを組み合わせることで課題を解決することが可能になっていた。教育分野でこのようなデジタル技術の利用が拡大され、学習履歴がデジタル情報として蓄積されていけば、AI やビッグデータの利用が加速し、VR/AR などの適用も拡大して、さらに教育効果が高まっていくことが期待される。それと比例してサイバーセキュリティ対策も重要な課題としてクローズアップされてくることになるだろう。

教育のデジタル化が進展すれば、個々のニーズに合わせて、いつでも、どこでも、好きな内容を選択し、学ぶことが容易になる。さらに、学習履歴がデジタル化され可視化されることにより、個人に個別最適化された効果的な教育(アダプティブラーニング)も可能になっていく。ただし、人と人との関係構築、協力と対立解消など、対面や集団活動を通じて学ぶ要素が重要な教育内容もあるので、教育目的に沿って多様な手段を組み合わせる効果を高める努力を継続する必要がある。

従来教育で行える事		
誰 (who) が学ぶのか？	従来の IT で効 率化が できる	お金がある人 (国)
いつ (when) 学ぶのか？		決まった時間
どこ (where) で学ぶのか？		学校など
何 (what) を学ぶのか？		問題に対する答え
なぜ (why) 学ぶのか？		それぞれの動機
どの様 (How) に学ぶのか？		主に集合型 (オフライン)

図 5 従来の教育に必要なことは「IT 化」

教育には、社会の変化を捉えて将来の社会で活躍できる人材を育てる責務がある。教育の効果が現実化するまでには時間がかかるので、旧来の社会的ニーズに合わせた教育を継続することの弊害は長期に及ぶ。教育者側が社会の変化に気づき、「新たな社会」を認識して教育の内容や方法を変化させていかなければならない。過去において正しかった教育の

目的と手段が将来には当てはまらないことがあり、経済成長や社会の発展を阻害する可能性もある。

次世代教育で行える事		
誰 (who) が学ぶのか？	CAMBRIC で実現可能	誰でも
いつ (when) 学ぶのか？		いつでも
どこ (where) で学ぶのか？		どこでも
何 (what) を学ぶのか？		課題設定と解決方法
なぜ (why) 学ぶのか？		それぞれの動機
どの様 (How) に学ぶのか？		主にオンライン

図 6 次世代の教育に必要なことは「DX 化」

Society 5.0 のような将来ビジョンを認識し、そこで活躍する人材に求められるコンピテンシーの習得を促進する必要がある。CAMBRIC のような技術的潮流とそれが社会に及ぼす影響を踏まえた教育内容の提供を目指すべきである。同時に CAMBRIC に象徴されるような技術が容易に利用可能になってくるので、効果的な教育を実現する手段として積極的な利用を検討すべきである。



図 7 社会の変化と教育のゴールを合わせる

現在、文科省が主導している GIGA スクール構想では、一人一台端末や ICT 環境の整備が先行しているが、個別最適化や創造性の育成など持続可能な社会の創り手の育成促進を掲げている。教育も一般の産業と同様に、デジタル技術を積極的に有効利用して、蓄積さ

れたデータを活用して学習者を支援することが重要テーマになっている。[3]

教育分野でのデジタル技術利用については、民間企業が先行しており、AIを活用したアダプティブラーニングなど、多くの新興企業が積極的に技術と教育の融合を進めている。今後、VRやARの活用も広まっていくだろう。現時点で日本は他国に対して出遅れ感があるが、裏を返せば伸び代が大きくビジネスチャンスに富んでいるとも言える。



図 8 海外の事例（歴史とビジネスモデル）

デジタル技術を利用した教育サービスは既に多数展開されており、学校教育や受験対策にとどまらず、産業界で活躍できる付加価値の高い人材を育成することを目指したリカレント教育に注目が集まっている。

CAMBRIC 等のデジタル技術に対して関心を持たない人も多いが、教育分野のサービスの利用者は全国民であり、好むと好まざるによらず便利なサービスは広く浸透する可能性がある。つまり教育手段の変質が国民全体に与える影響は極めて大きく、新技術が社会で認知され、様々な分野に浸透するには、教育分野での利用拡大が突破口になることが期待される。

人生 100 年時代に突入し、学習期間と労働期間がともに延びている。長い人生の間には社会が変化し産業も変化するので、個人に求められるコンピテンシーも変化していく。時代の要請に応えた学び直しが必要になり、リカレント教育の重要性 [4] [5]が高まっている。長い人生の中で活躍する上では、若年期の「学歴」よりもその後の「学習歴」が重要になってくると予想され、多様な学びの形態に対する需要が高まっていく。休職または退職して就学する人もいれば、就業を続けながら学びの機会を利用していく人もいる。年齢や家庭環境、勤務形態、それまでに培った知識や経験など、様々な背景を背負った人たちの能

力を伸長する機会、手段が求められる。クラウドサービスとタブレット端末を組み合わせたりリモート学習の比率が高まることは必然であろう。



図 9 国内の事例（歴史とビジネスモデル）

個人の能力や適性に合わせたアダプティブラーニングは、従来ベテラン教育者の経験に依存していたが、AI等のデジタル技術を利用した実装が進みつつある。教育の手段がデジタル技術の上で構築され、そこで生成されるデータの活用が進んでいく。クラウド、AI、モバイル端末、VR/AR、ビッグデータ解析、場合によってはIoTやロボットなども組み合わせた教育サービスが提供され、利用データの蓄積と共に質的向上も図られていくことになるだろう。人の成長に関わるデータが価値を生み出し、大きな事業機会が創出される可能性があり、同時に最新技術と客観的な分析を利用して、時代に則した多様で創造的な人材の育成を実現できる可能性もある。その成否は社会の発展、経済振興、そして個人の幸福に対しても大きな影響をもたらすと考えられる。

2.3.2 放送ビジネスに関する CAMBRIC の活用事例

1953年にNHKがテレビ放送を開始して以来、日本における放送業界はメディアの中心として発展して来た。その後、インターネットが出現し、スマートフォンに代表されるモバイル端末の発達やネットワーク環境の飛躍的な発展に伴いNetflixやHuluなどの料金定額制動画配信サービスが一般化し、YouTubeやInstagramなどSNSにおける無料の動画視聴も若年層を中心に広まっている。今まさに放送業界は大きな変革期を迎えている。ここでは放送ビジネスにおけるCAMBRIC活用の一事例として民放各社の視聴データへの取り組みについて挙げる。

テレビ視聴データの活用

在京民放 5 社は 2019 年 12 月から 2020 年 2 月にかけて総務省の主導でテレビ視聴データの実証実験を行った。視聴データとは視聴中のチャンネル情報や番組の視聴時刻情報であり、実験の対象は関東地区のインターネットに接続されているテレビ受信機である。視聴データの収集から集約までのフローを図 10 に示す。

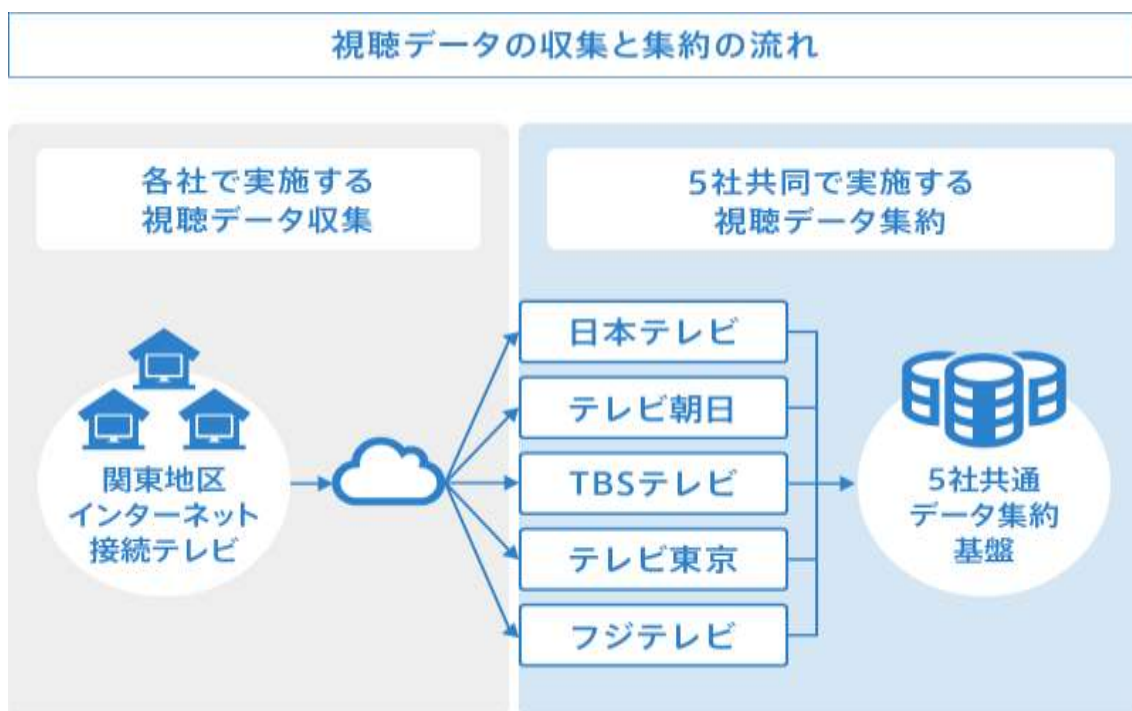


図 10 視聴データの収集と集約の流れ

視聴データの内容（オプトアウト方式のデータ）

- ・視聴中の参加放送局 5 社のチャンネル情報
- ・番組の視聴時刻情報
- ・IP アドレス
- ・対象受信機に設定されている郵便番号
- ・テレビ受信機を識別するための情報（共通 ID）

視聴データの利用目的

- ・データの収集・集約に必要な技術仕様の標準化、プラットフォームの技術検証
- ・放送サービスの向上やより良い番組制作に役立てるための視聴状況の調査・分析
- ・視聴者の安全・安心を確保するため、さらに必要な事項の検討
- ・視聴データをリマーケティング（広告等）などに応用する可能性についての机上検討
- ・災害対策など公共性が高いサービスへの視聴データ利活用の検討

民放各局においては本格的な視聴データの活用に向けて、急ピッチで標準化やインフラの技術検証に取り組んでいる。CAMBRIC 各要素の活用という点では、視聴データはビッグデータであり、データ収集、蓄積のインフラはクラウドサービスを利用している。今後は各社独自に自社のマーケティングに活用するためデータ分析の手法としてAIの活用が期待される。

2.3.3 スマートシティに関する CAMBRIC の活用事例

2.3.3.1 スマートシティ実現の要素

スマートシティは、「都市の抱える諸課題に対して、ICT等の新技術を活用しつつ、マネジメント（計画、整備、管理・運営等）が行われ、全体最適化が図られる持続可能な都市または地区」（国土交通省）と定義 [6]されている。さらにスマートシティは、先進的技術の活用により、都市や地域の課題の解決を図るとともに、新たな価値を創出する取組であり、Society 5.0 の先行的な実現の場である [7]。内閣府は「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) 第2期／ビッグデータ・AIを活用したサイバー空間基盤技術のアーキテクチャ構築ならびに実証研究事業」の成果として、「スマートシティリファレンスアーキテクチャ」や「スマートシティ分野実証研究」の成果などを公表している。 [6]

スマートシティの実現には、これまでの情報社会では実現が困難であった課題（知識や情報が共有されず、分野横断的な連携が不十分である）を解決するために、様々な分野を超えた情報の集約と連携、先進のIT技術を用いたサービスの実現、個人が様々なサービスを安心して使うためのデータセキュリティなどが必要になる。

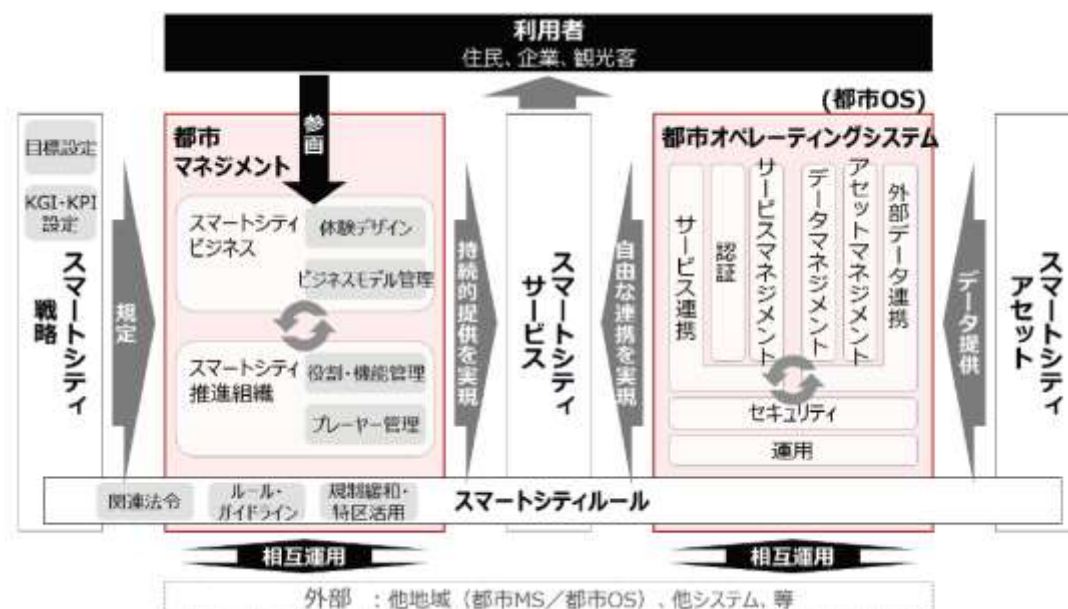


図 11 「スマートシティリファレンスアーキテクチャホワイトペーパー」スマートシティリファレンスアーキテクチャ全体像

2.3.3.2 スマートシティの中の CAMBRIC

ここでは、スマートシティ実現の IT 要素としての都市オペレーティング・システム（都市 OS）の考え方をもとに CAMBRIC の技術との関係を示す。

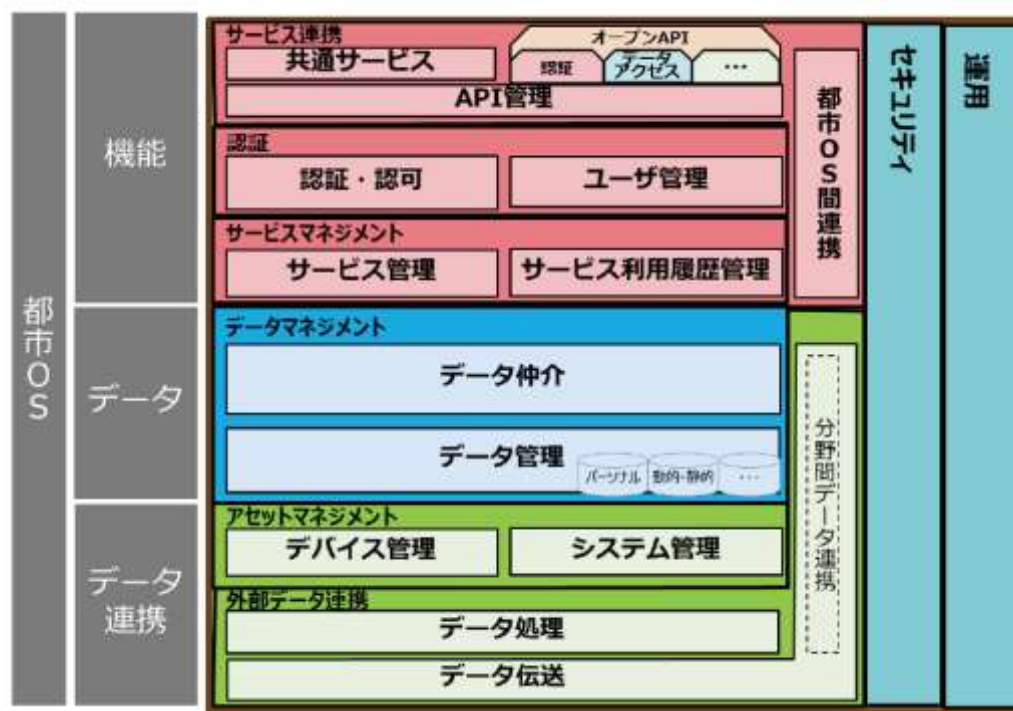


図 12 「スマートシティリファレンスアーキテクチャホワイトペーパー」スマートシティリファレンスアーキテクチャにおける都市 OS の詳細

スマートシティの中心となる都市 OS の考え方は、様々なデータの集約を行い、そのデータを利活用することで社会課題を解決できるようにするための仕組みを表している。「機能」「データ」「データ連携」「セキュリティ」「運用」の 5 層にて実現されている。各層に有する機能は、現在の高度な IT システムの実現のための要件が示され、CAMBRIC で表される IT システムの今後の世界とも一致している。

ここでは、スマートシティの中で CAMBRIC のそれぞれの要素をどの様に利用しているか一覧を次に示す。

CAMBRIC	スマートシティの中の CAMBRIC（都市 OS の中の機能との関係性）
クラウド	“都市 OS（全体）”： スマートシティでは、様々な先進サービスを利用し連携するため、都市 OS はクラウド上に実現される。クラウドシステムの発展はスマートシティの実現を後押しする。

AI	“都市 OS（共通サービス）”： スマートシティでは、様々なデータを収集、分析し、AI 技術を用いて新たな発見や対策（観光、防災、etc）を導き出す事例が多数存在しており、AI は必須の技術となる。
モビリティ	“都市 OS（データ管理）（データ連携）”： 移動体から得られるデータ（公共交通のセンサデータ、スマートフォンによるアクセスデータ、ローカル 5G から得られるデータなど）スマートシティ内で発生するデータの活用が進み、その高度利用が期待される。
ビッグデータ	“都市 OS（データ管理）（データ連携）”： スマートシティでは、多種多様なデータが大量に発生し、その収集活用は大きな価値をもたらすと想定されるので、スマートシティをビッグデータそのものと見なしても過言ではない。また複数のスマートシティ間でデータ連携を進め、仮想的に大規模なビッグデータ基盤を実現することも予想される。
ロボティクス	“都市 OS（データ連携）”： スマートシティにおいてデータを生成するデバイスや中継するネットワークをスマートシティアセットと呼ぶ。ここで想定するデバイスには単純なセンサのみならず、アクチュエータなどロボティクスの要素を含む。街灯、サイネージ、配送電機器など、双方向にデータをやり取りするハードウェアが重要な役割を果たすので、ロボティクスもスマートシティ実現の大きな要素になる。
IoT	“都市 OS（機能）（データ連携）”： スマートシティでは、課題解決に必要なデータを収集し、都市 OS に連携するスマートシティアセットが配備される。これらによって形成されるデータ収集及び処理の機能は、IoT そのものであり、IoT はスマートシティに必須の要素である。
サイバーセキュリティ	“都市 OS（セキュリティ）”： スマートシティでは、パーソナルデータの活用や自治体サービスの実現など、データの活用に対して高いセキュリティレベルが求められる。またデータの改竄対策など先進のサイバーセキュリティ要素も必要になる。

上表で示すようにスマートシティは CAMBRIC の技術要素すべてを網羅した IT システムである。また具体例については、先述の“SIP サイバー/アーキテクチャ構築及び実証研究の成果公表”の中で実証例が示されている。

最後に、スマートシティは国のデータ戦略のもと、多数の分野をカバーし分野横断的にデータを収集・整理し提供する「データ連携基盤」を軸にしたスーパーシティ構想 [8]に進化を遂げようとしている。技術としての CAMBRIC は、より密接かつ重要な技術としての活用が想定される。

先進的かつ大規模な IT システムとしてのスマートシティと CAMBRIC の関係は、IT システム構築を行う上で継続的に注目が必要と考える。

2.4 将来への対応 CAMBRIC がどう役に立つのか

CAMBRIC の技術が将来どう役に立つかについて、以下の点について述べる。

- ・ DX と CAMBRIC の関係性
- ・ CAMBRIC の必要性
- ・ CAMBRIC の将来性

2.4.1 DX と CAMBRIC の関係性

DX とはデジタルトランスフォーメーション (Digital Transformation) の略称となる。DX は経済産業省の DX 推進ガイドラインにて「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」として定義されている。

DX の詳細については、JISA 平成 30 年度 報告書「社会のデジタルトランスフォーメーション (DX) 推進に貢献する情報サービス企業のあり方」にてまとめているので、本書での説明は割愛する。

DX(デジタルトランスフォーメーション)		
何で？	CAMBRICは DXの基盤技術	デジタル技術 CANBRICを利用して
何を？		ビジネス、組織・制度、 文化・風土を変革する
何のために？		競争優位を確立し、 事業成長・企業存続するため

図 13 デジタルトランスフォーメーションと CAMBRIC との関係

CAMBRIC は注目されるデジタル技術トレンド 7 つの頭文字であり、DX はデジタル技術を活用した変革であることから、DX と CAMBRIC の関係は図 13 のようになる。

2.4.2 CAMBRIC の必要性

DX と CAMBRIC の関係性から、CAMBRIC（デジタル技術）は DX を実現するための基盤技術であると言える。

DX の取り組みは IT 業界だけでなく、既存のビジネスモデルを大きく見直す必要性があるすべての業界で取り組みが進められていて、既に DX を実践して成果を上げている企業も出てきている。

DX で目指す方向性には、以下の 2 パターンがあるが、どちらにも CAMBRIC 技術が必要である。

- 既存のビジネスモデルを、デジタル技術(CAMBRIC)で高効率・最適化する
- ビジネスモデルを変革し、デジタル技術(CAMBRIC)で新しい価値を提供する

2.4.3 CAMBRIC の将来性

本書の 2.3 章「現在における CAMBRIC」でも取り上げている通り、CAMBRIC は各種ビジネスに活用され始めている。

現在は先行者がクラウドコンピューティングや AI など最新の技術を取り入れて市場を開拓している段階であるが、将来は DX が進んでいき、あらゆる産業が CAMBRIC を普通に利用するようになり、CAMBRIC の一つの技術要素だけではなく複数技術が組み合わさったサービス・製品が当たり前存在している社会が想定される。

このように CAMBRIC は将来、スマートフォンのように技術の詳細は理解していなくても、あらゆるところで活用できるようになり、IT 技術者だけでなく一般的に利用される技術となっていくと考えられる。

将来、CAMBRIC を利用するリテラシの有無による格差が拡大していく可能性もある。これはあらゆるサービスに CAMBRIC が活用されていく世の中で、そのサービスの仕組みを理解することで自身に不利益な情報が漏えいしないよう設定を変更し、自身に有益な情報をいち早く取得し効率的に生活をアップデートすることも可能となるため、CAMBRIC リテラシを高めることは必要不可欠である。

2.4.4 CAMBRIC を理解するには

CAMBRIC の技術が将来どう役に立つかについて説明した通り、CAMBRIC は現在から将来に向けてのデジタル技術のトレンドである。

技術トレンドは変化していくが、複数のデジタル技術トレンドが組み合わさって DX が行われていくことは変わらないため、要素技術の理解と、それらがどの様に組み合わさって製品・サービスとなっているかを理解することは重要である。

CAMBRIC を理解するには、本書の 3 章以降に CAMBRIC の詳細な解説がされているため、これを参考に CAMBRIC 技術の導入を検討することをお薦めする。

3 CAMBRIC 周期表

近年の産業構造及び社会の変化が複数の技術の相乗効果によってもたらされていることは 2 章で述べた。このような複数技術の影響や位置づけを理解する上で、周期表(Periodic table)の考え方が役に立つ。様々な領域における技術動向を表現するために周期表が用いられている。本章では、技術動向を理解するツールとしての周期表の意義、及び当部会における利用方法について説明する。

3.1 CAMBRIC 周期表検討の進め方について

周期表は、元素の性質の類似性に着目して規則的に元素を配置した表である。原子量順に並べた元素が周期的に似た性質を持つことに注目して作成され、その後の元素の発見や理論構築に利用された。この着想を援用し、多数の要素的な技術の関連を意識して 2 次元に配置して、技術の類似性や関連性を表したものである。多数の技術を整理し、視覚的、俯瞰的に表現して理解を助ける狙いがある。今後の応用や発展、研究開発の必要性などの検討を支援できる。

以下に例示するが、Disruptive Technology, Educational Technology, Visualization Methods, DevOps, Cybersecurity, Security, Wearable Technology など、様々な周期表が提案されている。それぞれに目的や考え方が異なり、縦軸と横軸の意味、分類の方法など、独自の解釈に基づいて作成されている。また、発展中の領域に対して作成されているので、網羅性や完全性を主張するものではなく、暫定的で随時見直すとしている周期表が多い。共通していることは、対象としたテーマに関して、関連する複数の概念や区分を俯瞰的に表現して理解や議論を促進していることである。

当部会においても、デジタルトランスフォーメーションに関する技術動向を理解し、対応を議論するにあたり、関連する主要な技術を構成する要素技術に目を向けるという分解、分析の視点と、それらの関連性に目を向ける統合、総合の視点の両方が必要であるとの認識に至った。CAMBRIC の 7 つの技術それぞれについて議論を深めると同時に、それらの関連性についても検討する必要があった。その両面を実現する上で、周期表という考え方は有効であると評価した。

【周期表の例】

1. Disruptive Technology の周期表

Richard Watson & Anna Cupani at Imperial Collage Tech Foresight

https://toptrends.nowandnext.com/wp-content/uploads/2018/03/180131_Disruptive-Tech.png

2. Educational Technology の周期表
Kathy Schrock
http://www.schrockguide.net/uploads/3/9/2/2/392267/edtech_periodic-table.pdf
3. Visualization Methods の周期表
Ralph Lengler & Martin J. Eppler
<https://www.legaltechdesign.com/2014/02/a-periodic-table-of-visualization-methods/>
4. DevOps の周期表
Sahiti Kappagantula, Edureka
<https://www.edureka.co/blog/devops-periodic-table/>
5. Cybersecurity の周期表
CB Insights
<https://cbi-blog.s3.amazonaws.com/blog/wp-content/uploads/2017/03/Periodic-table-of-cybersecurity-image-2.png>
6. Security の周期表
IFSEC Global
<https://s33644.pcdn.co/wp-content/uploads/2018/12/8793-IFSEC-Global-Periodic-Table-2020.jpg>
7. Wearable Technology の周期表
Upskill
<https://upskill.io/landing/wp-periodic-table-wearable-technology/>

3.2 CAMBRIC 周期表について

周期表に掲載した技術は、当部会で議論した技術のみであり、網羅性は欠ける。また、ひとつの技術が CAMBRIC の複数の領域で注目される場合もある。例えば、ブロックチェーンはクラウドコンピューティングとビッグデータの両方で取り上げた。

当部会で整理した CAMBRIC 周期表は以下の通りである。

	Cloud Computing	AI	Mobility	Big Data	Robotics	Internet of Things	Cyber Security
Basic	・クラウド環境の整備 ・クラウドリフト ・API連携	・音声認識 ・画像認識	・モバイルデバイス（スマートフォン、タブレット、ウェアラブル端末） ・スマートフォンアプリの開発 ・VR（仮想現実） ・通信技術（4G/LTE、Wi-Fi、Bluetooth、NFC、LPWA、UWB）	・ICTスキル総合習得プログラム（総務省） ・データ利活用のポイント集（経済産業省）	・従来型の産業用ロボット ・従来型の遠隔操作型ドローン ・コミュニケーションロボット（ロボットトイ） ・家電（掃除ロボット）	・トラッキング、モニタリング ・スマートロック ・LPWA	・情報セキュリティ診断（IPA） ・サイバーセキュリティ経営ガイドラインVer 2.0（経済産業省/IPA） ・セキュリティリスクアセスメント
DX introduction	・クラウドシフト ・マルチクラウド ・サーバレス	・需要予測 ・条件付き自動運転（レベル3）	・モバイルデバイスAR/MRグラス、スマートグラスによるXR（AR、MR）の実現 ・5G プライベートLTE	・ETLとELT ・データレイク ・オープンデータ ・ストリームデータ処理 ・大規模分散 ・データマイニング ・テキストマイニング ・ブロックチェーン（ビットコイン）	・フィールドロボット（AGV） ・コミュニケーションロボット（見守りロボット）	・無人店舗 ・製造IoT ・SCADA ・エッジコンピューティング ・fogコンピューティング	・脆弱性情報の収集と対策 ・認証技術（二要素認証、生体認証、SSO） ・多層防御
DX evolution	・データ蓄積と活用（顧客チャネルの増加による） ・IoT（積極的に活用） ・AI活用	・エッジAI ・AIガバナンス	・スマートフォンによるホームセキュリティ、家電のリモート操作 ・SR ・ローカル5G	・需要予測の進化 ・データの分析活用による食品ロスのゼロ化 ・防災シミュレーション ・設備の予知保全 ・農業の自動化	・産業用ロボット（協働ロボット） ・フィールドロボット（AMR） ・コミュニケーションロボット（アバターロボット）	・デジタルツイン／スマートファクトリー ・ヘルスケアIoT	・サプライチェーンセキュリティ ・デジタルフォレンジック ・ゼロトラストネットワーク
Next DX	・ブロックチェーン（改ざん防止など） ・情報銀行・個人情報流通	・量子コンピューティング ・人間らしいコミュニケーション	・透明スマートフォン ・MR（複合現実）を使った仮想スマートフォン ・腕時計型スマートフォン ・6G	・個別化医療 ・デジタル倫理	・施設のロボット化 ・クラウドロボティクス ・医療用ナノロボット ・バイオニックハンド	・6G ・遠隔知覚（遠隔触覚）	・予兆検知/UEBA/SIEM ・サイバーテロ対策

図 14 CAMBRIC 周期表

当部会の周期表ではデジタルトランスフォーメーションの進展状況に応じて 4 段階に分類し、CAMBRIC の領域に属する要素技術やサービスを配置している。4 段階の定義は以下の通り領域横断的に定めたが、領域の特性によって調整が必要であり、7 領域それぞれにおける解釈は、それぞれの解説の中で説明している。

Basic

- ・エンジニアが一般的に習得する機会があるもの
- ・量産化されているもの
- ・身の回りに存在するもの
- ・それぞれのカテゴリで代表的なもの
- ・世の中で話題になっているもの

DX introduction

- ・世の中で使われ出しているが先進的なもの
- ・発展途上で導入されたばかりのもの
- ・商品化後、間もないもの
- ・企画で提案した際に目新しさがあるもの
- ・先進的な顧客では使っているもの
- ・先進事例は存在するもの

DX evolution

- ・概念提唱されているもの
- ・コンセプトモデルなどで利用されているもの
- ・先進的な顧客に対する PoC で使われることが想定されるもの
- ・世の中の評価が定まっていないもの
- ・CAMBRIC の複数領域と相互作用があるもの

Next DX

- ・今すぐ使える技術ではなくバズワードとも思われるもの
- ・研究段階で商品化はされていないもの
- ・願望や希望といった要素が強いもの

3.3 周期表活用方法について

CAMBRIC の周期表では、横の行（周期）を 4 段階に設定している。

第一周期（Basic）では各要素の結びつきはない、あるいは弱い傾向にあるが、周期が大きくなると他の要素との組み合わせにより効果を発揮している技術も出現してくるようになる。

各要素の実用段階がそろって適用されるため Basic に DX evolution を組み合わせるようなケースよりも同一周期での横通しで実際のビジネスを企画・実現するような見方が想定される。

Next DX については第一から第三周期の技術の発展系として規定されているものもあれば、これまでの概念では定義できないものも混在しており一概には言えないものの、段階が進むほど多くの CAMBRIC 要素が複雑に絡み合ってくる。

具体的な例としては、クラウドの Next DX では IoT を積極的に利用して DX introduction 段階にあるビッグデータでのブロックチェーンから発展し、より高度なブロックチェーンに進化していくようなものや、ビッグデータの DX evolution では分析に AI を活用し予測に影響がある要因を収集するといったどちらが主でどちらが従とは明確にならないものも創出されている。IoT の DX introduction でもセンサの種類が増えることで蓄積するデータも増え、クラウド上でビッグデータとして扱い AI で分析するような複合パターンも出現している。

	Cloud Computing	AI	Mobility	Big Data	Robotics	Internet of Things	Cyber Security
Basic	- クラウド環境の整備 - クラウドリフト - API連携	- 音声認識 - 画像認識	- モバイルデバイス（スマートフォン、タブレット、ウェアラブル端末） - スマートフォンアプリの開発 - VR（仮想現実） - 通信技術（4G/LTE、Wi-Fi、Bluetooth、NB-IoT、LPWA、UMB）	- IoTスキル総合習得プログラム（総務省） - データ利活用のポイント集（経済産業省）	- 従来型の産業用ロボット - 従来型の遠隔操作型ドローン - コミュニケーションロボット（ロボットイ） - 家電（掃除ロボット）	- トラッキング、モニタリング - スマートロック - LPWA	- 情報セキュリティ診断（IPA） - サイバーセキュリティ経営ガイドラインVer.2.0（経済産業省/IPA） - セキュリティリスクアセスメント
DX introduction	- クラウドシフト - マルチクラウド - サーバレス	- 需要予測 - 条件付き自動運転（レベル3）	- モバイルデバイスAR/VRグラス、スマートグラスによるXR（AR、MR）の実現 5G プライベートLTE	- ETLとELT - データレイク - オープンデータ - ストリームデータ処理 - 大規模分散 - データマイニング - ブロックチェーン（ビットコイン）	- フィールドロボット（AGV） - コミュニケーションロボット（見守りロボット）	- 無人店舗 - 製造IoT - エッジコンピューティング - フォグコンピューティング	- 脆弱性情報の収集と対策 - 認証技術（二要素認証、生体認証、SSO） - 多層防御
DX evolution	- データ蓄積と活用（顧客チャネルの増加による） - IoT（積極的に活用） - AI活用	- エッジAI - AIガバナンス	- スマートフォンによるホームセキュリティ、家電のリモート操作 5G - ローカル5G	- 需要予測の進化 - データの分析活用による食品ロスのゼロ化 - 防災シミュレーション - 設備の予防保全 - 農業の自動化	- 産業用ロボット（協働ロボット） - フィールドロボット（AMR） - コミュニケーションロボット（アバターロボット）	- デジタルツイン/スマートファクトリー - ヘルスケアIoT	- サプライチェーンセキュリティ - デジタルフォレンジック - ゼロトラストネットワーク
Next DX	- ブロックチェーン（改ざん防止など） - 供給側・需給側連携	- 量子コンピューティング - 人間らしいコミュニケーション	- 透明スマートフォン - 眼（複合現実）を使った仮想スマートフォン - 腕時計型スマートフォン 6G	- 個別化医療 - デジタル健康	- 施設ロボット化 - クラウドロボティクス - 遠隔操作型ロボット - バイオニックハンド	6G - 遠隔知覚（遠隔触覚）	- 予測検知/UEBA/SIEM - サイバーテロ対策

図 15 CAMBRIC 見方（クラウドの Next DX）

	Cloud Computing	AI	Mobility	Big Data	Robotics	Internet of Things	Cyber Security
Basic	- クラウド環境の整備 - クラウドリフト - API連携	- 音声認識 - 画像認識	- モバイルデバイス（スマートフォン、タブレット、ウェアラブル端末） - スマートフォンアプリの開発 - VR（仮想現実） - 通信技術（4G/LTE, Wi-Fi, Bluetooth, NFC, LPWA, UWB）	- ITスキル総合習得プログラム（総務省） - データ利活用のポイント集（経済産業省）	- 従来型の産業用ロボット - 従来型の遠隔操作型ドローン - コミュニケーションロボット（ロボットイ） - 家電（掃除ロボット）	- トラッキング、モニタリング - スマートロック - LPWA	- 情報セキュリティ診断（IPA） - サイバーセキュリティ経営ガイドラインVer. 2.0（経済産業省/IPA） - セキュリティリスクアセスメント
DX introduction	- クラウドシフト - マルチクラウド - サーバレス	- 産業画像 - 条件付き自動運転（レベル3）	- モバイルデバイスAR/VRグラス - スマートグラスによるVR（AR、MR）の実現 5G プライベートLTE	- ETLとELT - データレイク - オープンデータ - ストリームデータ処理 - 大規模分散 - データマイニング - テキストマイニング - ブロックチェーン（ビットコイン）	- フィールドロボット（AGV） - コミュニケーションロボット（見守りロボット）	- 無人店舗 - 製造IoT - SCADA - エッジコンピューティング - フォグコンピューティング	- 脆弱性情報の収集と対策 - 認証技術（二要素認証、生体認証、SSO） - 多層防御
DX evolution	- データ蓄積と活用（顧客チャネル） - IoT（積極的に活用） - AI活用	- エッジAI - AIガバナンス	- スマートフォンによるホームセキュリティ - 家電のリモート操作 5G - ローカル5G	- 需要予測の進化 - データの分析活用による食品ロス - 防災シミュレーション - 設備の予知保全 - 農業の自動化	- 産業用ロボット（協働ロボット） - フィールドロボット（AMR） - コミュニケーションロボット（アバターロボット）	- デジタルツイン/スマートファクトリー - ヘルスケアIoT	- サプライチェーンセキュリティ - デジタルフォレンジック - ゼロトラストネットワーク
Next DX	- ブロックチェーン（改ざん防止など） - 情報銀行・個人情報流通	- 量子コンピューティング - 人間らしいコミュニケーション	- 透明スマートフォン - 眼（複合現実）を使った仮想スマートフォン - 腕時計型スマートフォン 6G	- 個別化医療 - デジタル倫理	- 施設のロボット化 - クラウドロボティクス - 遠隔操作型ロボット - バイオニックハンド	6G - 遠隔知覚（遠隔触覚）	- 予測検知/UEBA/SIEM - サイバーテロ対策

図 16 CAMBRIC の見方（IoT の DX introduction）

CAMBRIC 周期表をビジネスに活用する方法として、以下の二種類のアプローチが想定される。

1. 縦方向の関係性に着目する

Basic や DX introduction の技術を学習、試行することから始め、徐々に高度な技術に挑戦することで、その技術領域のノウハウを効率的に蓄積する。

2. 横方向の関係性に着目する

同じレベルに分類された技術は、普及状況や完成度が近い傾向があることから、導入の外部条件や実行に必要な環境条件を合わせ易い。複数の領域の同じレベルに属す技術を組み合わせた応用、相乗作用を検討する。

4 CAMBRIC 各要素について

4.1 クラウドコンピューティング

4.1.1 本章の概要

4.1.1.1 クラウドが注目される時代背景

クラウドコンピューティングという呼び方が広まって 15 年が経過したが、まずはクラウドコンピューティングが広く受容された時代背景から考えていきたい。

クラウドによる最も大きな影響は、IT 資産を「所有するもの」から「利用するもの」に変えたことだと言える。すべての産業でこのパラダイムシフトによって経営のあり方が大きく変わろうとしている。クラウドの登場で、資本力のある企業だけではなく個人でさえも、無限に近い IT 資源にアクセスできるようになった。さらに、クラウドを活用することで、大量のデータが蓄積され、AI が進化するための資源になっている。今まで、IT 資産は自社で購入し所有するのが一般的だったが、インターネットが登場しクラウドという概念が生まれたことにより、IT 資産を電気のように必要な時に必要なだけ活用ができる新たな時代に突入した。大きな資本力で「IT 資産を持つ」ことはビジネス上の差別化要因ではなくなり、「IT を利用して何を創造するか」が大きな差別化要因になった。所有から利用に変わることで得られる利点は多くあるが、まとめると以下の 5 つが挙げられる。

1. 仮想インフラをインターネット経由で調達できる。(サーバー設置場所、利用場所から解放)
2. 利用した分だけの料金の支払い。(コスト：利用料・使う機能に課金、初期投資が不要)
3. IT 資源を固定費から変動費にできるのでビジネスのスピードを加速させることができる。(アジリティ：追加・変更の柔軟性)
4. インフラを自由にスケールアップやスケールアウトができる。(スケール：処理能力・容量の制約からの解放)
5. クラウドベンダ提供の高度な API が利用可能。

上記の通り、あらゆる IT 資源に素早くアクセスしすぐに活用できることから、クラウドを「素早くビジネスに取り込むこと」は、今後のビジネスを展開する上でとても重要なテーマになってくる。変化が早く予測不可能な社会では、長期的に安定した要件を確定できるという前提でシステムを開発するのではなく、業務プロセスが変わることを前提とし、要件の変化に素早く対応できるシステムを開発していくことが求められる。このような状況ではクラウドを活用して事業を展開することが非常に有効である。リアル社会で流通網が「人」と「物」をつなぐことで価値を生み出すように、クラウドが「IT 資源」「モノ」「サービス」「人」をネットワークでつないでサイバー空間に流通網を形成し、新たな価値が生み出されていくと考えられる。以下で述べるクラウド進化の 4 段階は、変化する社会の中で、「IT 資源」「モノ」「サービス」「人」をクラウドがつなぎ合わせてサイ

バー空間の流通網を進化させる過程に注目し、ビジネスの中でクラウドをどの様に利用できるか順を追って解説している。

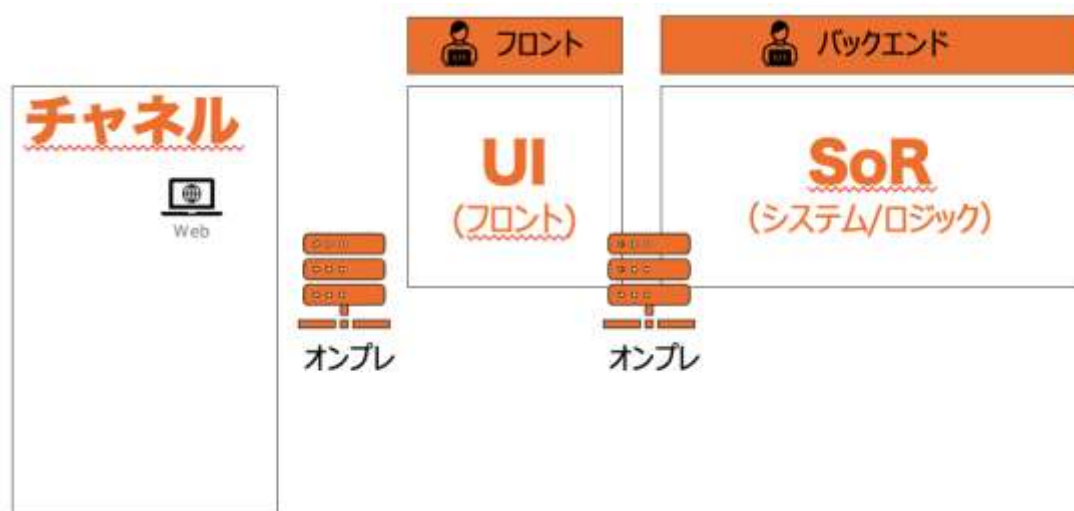


図 17 従来型開発とクラウド型開発の比較イメージ



図 18 クラウド型の構成イメージ

4.1.1.2 注目されるクラウドサービス

現在、多くのクラウドベンダが存在する。IaaS、PaaS、ホステッドプライベートクラウドなどの「クラウドインフラ」として、大きなシェアを獲得している上位3社は、AWS (Amazon Web Service) のAmazon、AzureのMicrosoft、GCP (Google Cloud Platform) のGoogleである。

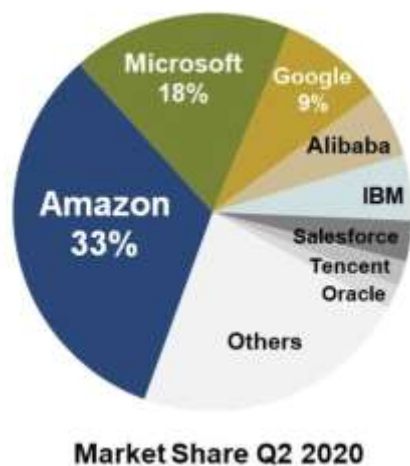


図 19 IaaS、PaaS、IaaS ベアメタルのクラウドシェア

出所：Synergy Research Group より引用 [9]

出所：ガートナー より引用

さらに、IDC 調査レポートによると、「世界の企業は 60 年かけて 5 億本のアプリケーションを稼働させている。今後、23 年までに新たに 5 億本が作られ配備される。その 9 割がクラウドネイティブになる。その中には、DX 化と合わせて、考えもつかなかったサービスや企業が登場する。その原動力は 50 倍のスピードを持つクラウドネイティブである。」という提言を発信している。つまり、これからのアプリケーション開発では、「クラウドを使うか使わないか」ではなく、「機敏に提供するためにどのクラウドを活用すべきか」が本質的な問いになる。

4.1.1.3 クラウドリソースの種類

クラウドには様々なレイヤが存在している。蛇口をひねれば水が出る、スイッチを入れれば電気がつく、そしてボタンを押せば IT 資源が調達できる、という時代に入っている。クラウドを活用すれば必要な IT 資源を素早く調達し、その後容易にシステム規模を拡大できる。今後、技術者にとって重要な観点としては、様々なクラウドサービスが存在する中、どの様に組み合わせることが最もビジネスに貢献できるかということではないだろうか。



図 20 クラウドリソースの種類

4.1.2 本章における 4 段階の定義

本章では、クラウド技術が社会にどの様に浸透し変化をしてゆくのかについて、4 段階の定義を行っていくこととする。

【技術進化の 4 段階】

Basic	クラウドの積極的な利用を推進する段階。 新規サービスや既存のオンプレミスのシステムを部分的にクラウドに置き換え、活用をするクラウドリフトのフェーズ。
DX introduction	自社の IT 資源がクラウドに置き換わり、変化に即応できる仕組みが整い始めた段階。自社だけの閉じた世界での IT 活用ではなく、SaaS などのあらゆるクラウドサービスと連携することで、顧客とのタッチポイントが増え、データが蓄積され始めるクラウドシフトのフェーズ。
DX evolution	IoT の活用、API 連携などで顧客とのチャネルが増え、データ活用基盤の重要性が向上する段階。部分的な整備が始まり、クラウドで提供されている学習済み AI モデルとの連携が進み高速にビジネスの改善が進められるフェーズ
Next DX	クラウドに接続する機器が膨大になることで、クラウド側の処理も比例し、膨大になり始め、さらに、IoT 端末の性能が向上することで、処理がエッジに分散し始める段階。メインフレームと端末、クライアントとサーバーといった形で、IT の歴史で繰り返してきた、集中と分散の流れに入るフェーズ。

第1段階は Basic、第2段階は DX introduction、第3段階は DX evolution、第4段階は Next DX とし、それぞれの定義は【技術進化の4段階】にまとめることとする。また、主に、Society4.0 情報社会から Society5.0 超スマート社会に移行する中で、クラウド技術がどのように活用されるか記述している。

4.1.3 具体的な項目

【各段階の代表技術】

Basic	DX introduction	DX evolution	Next DX
・クラウドリフト ・クラウド環境の整備 (クラウドサービス選定：AWS、Google Cloud、MS Azure と自社にあった利用方針：プライベート、パブリック、ハイブリッドなど) ・XaaS(IaaS, PaaS, SaaS)の部分的な活用 ・API 連携	・クラウドシフト ・マルチクラウド ・コンテナ技術 ・サーバレス ・マイクロサービス ・IoT (部分的に活用) ・クラウド認証局 (ID/生体/KYC) ・タッチポイントサービス (個人サービスポータル)	・データ蓄積と活用 (顧客チャネルの増加による) ・IoT (積極的に活用) ・AR、VR、MR などのバーチャルリアリティ ・AI 活用 ・データフェデレーション (社内に分散した様々なデータを仮想的に統合)	・量子コンピュータ ・自動車 ・ロボット ・人工衛星 ・スマートシティ (サービス) ・デジタルガバメント ・ブロックチェーン ・情報銀行・個人情報流通

←一般的な技術

応用分野→

【Basic】

この段階はクラウドの積極的な利用を推進する段階と定義する。Basic 段階で主なテーマは、既存のオンプレミスのサービス、または新規開発のインフラをクラウドに切り替えることである。オンプレミスでの所有から、クラウドの利用へ切り替えることは、冒頭の IT 資産を所有から利用に変更することであり、新たな時代の変化に素早く対応するための準備をすることになる。したがって既存のエンジニアはオンプレミスでの開発と合わせて、早急にクラウドに対する基本的な知見を持ち、顧客のニーズに応えていく必要がある。この段階で重要なことは、既存技術の習得と合わせて、新たな技術に組織的に取り組めるように、エバンジェリストの育成が重要になってくる。小さく生み出しながら、同時に組織的な意識変化を起こし、全体に波及するように、積極的に成果を可視化することも合わせて行っていく必要がある。

・クラウド環境の整備

オンプレミスではいくら利用しても費用は定額だったのに対し、冒頭で説明したように、

クラウドを利用では、「利用した分だけの料金の支払い。(初期投資が不要)」といったメリットがある反面、当然、使った分だけコストがかかってしまう。クラウドは様々な取り組みに素早くチャレンジできる分、検証時に利用した高額サービスや、サーバーの止め忘れなどで、思わぬ請求が来るケースが後を絶たない。クラウドを導入する場合、まずメリット、デメリットをしっかりと教育し、安心して学べる環境を、会社として準備をする必要がある。そのためには、経営陣がクラウドの利点を理解し、会社としてエンジニアを育成することにコミットすることが特に重要である。

・クラウドリフト

クラウドリフトとは、まずは自社の IT リソースをクラウドに移行することである。自社の IT 資源をオンプレミスからクラウドにリフトすることは DX の「最初の 1 歩」と言えるフェーズである。これからの時代、ビジネスは顧客の反応を見ながら、ライバルよりも素早く改善していかなければならない。その素早い変化が求められる中、今までのようなオンプレミスでの実装では、改善のスピードが追いつかない。重要なのは、サービスを改善する際に足回りとなる IT インフラを、スピードに対応できる状態にしておくことである。サービスはフィジビリティ、ソフトウェアはアジャイル、ハードウェアはクラウドなど、それぞれの要素が、ビジネスの変化に素早く対応できる準備ができていることが重要である。

・API 連携

クラウド化が進むと自社のサービスを API として公開し、API を公開している企業同士のビジネスがつながりあい、大きなビジネスへ広がってゆくエコシステムが生まれた。自社のサービスを、自分たちだけで囲い込むのではなく、他社が利用できるような状態にすることで、より大きな経済圏が生まれる。この API エコノミーで有名な企業は Uber（ウーバー）や Airbnb（エアビーアンドビー）である。両社はアプリケーションの機能すべてを自社で開発しているのではなく、地図や決済、顧客との通話などは外部のサービスと API 連携をしている。自社で開発しているのは、最も重要な顧客とのインタフェースである。このように、API 連携をうまく活用することによって、開発に要する時間と費用を減らし、自社の限られた資源を最も重要な部分に集中させることができる。

【DX introduction】

この段階では、クラウド利用が標準化された後、更なる活用を推進する。つまり、Basic 段階で、IT 資源をクラウドに「リフト」した後に、更なるクラウド化に「シフト」するための技術群を DX introduction として定義する。

例えば、サーバレスの技術などは、単体で活用することもできるが、効果を出すためには、連携するシステムがクラウド上で稼働していることが望ましい。

この段階では、クラウドをさらに活用して、既存事業のコストを削減するか、売上を向上

させることで事業に貢献する。合わせて、次世代のデータ活用を進めるために、クラウド上にデータを集め、新たな付加価値を生み出す準備を始める段階でもある。

・クラウドシフト

クラウドシフトとは、自社の IT リソースをクラウドに移行後、最適化することである。クラウド活用では大きな恩恵を受けられる、マネージドサービスやサーバレスなどの活用を推進し、クラウドネイティブなシステムに作り上げる。

・マルチクラウド

一つのサービスだけを利用するのではなく、複数のクラウドサービスから、各サービスの利点を活かしながら組み合わせ活用することである。これにより各クラウドベンダのよい点を主体的に選定し活用できる他、一社に依存することなくサービスやデータを分散することができるメリットがある。反面、複数のクラウドを利用することは利用費以外に、利用者の育成にコストがかかるなど、デメリットもあるので自社の状態に合わせてどのクラウドを利用するのか判断する必要がある。

・サーバレス

サーバーの構築や保守などの管理をすることなく、サーバー上でプログラムを実行できる仕組みである。クラウドの利点として IT 資源を必要な時に必要なだけ利用することができるが、サーバレスの仕組みを使うことで、サーバー自体を契約せずともアプリケーションの実行環境のみを利用することができる。サーバレスを実現するための主なサービスとしては、AWS Lambda が有名である。Lambda 関数でシステムを構築することで、サーバーのプロビジョニングや管理をする必要がなくなる。

【DX evolution】

この段階は、情報化社会から発展した超スマート社会の新たな価値基準に基づいて様々なサービスを提供するために必要な技術になる。今までのビジネスは「人が行う業務」をいかに IT で効率化し、コストを削るか、売上を上げるかに焦点があたっていたが、この段階からは、IT でビジネスを創造することを目指し、人が運用を支援する形態にビジネスが変化してゆく。この段階では、主にデータ活用など次世代の資源をどの様に「価値に変換」していくかが重要なテーマになる。そのために必要な技術を以下で取り上げる。ビジネスの拡大とともに急拡大するデータ量や接続機器に対処するために、クラウドの拡張性が重要な役割を果たす。

・データ蓄積と活用（顧客チャネルの増加による）

今後さらに重要になってくるデータをしっかりと守るためにも、クラウドの活用は必須

になってくる。クラウドではあらゆる形式でデータを蓄積することができ、ビジネスに合わせて、分析、データの移動、データレイク、予測分析と機械学習など、様々な活用ができるサービスが用意されている。

・IoT（積極的に活用）

IoT とクラウドは非常に密接な関係にある。今までは、主に人間がブラウザを経由してアクセスすることによりデータが蓄積されていたが、これからは IoT 機器によってセンサから様々なデータが常時収集され蓄積されてゆく。クラウド側からも IoT のマネジメントコストを落とすようなサービスが準備されるようになってきており、例えば、クラウドからデバイスを保護、コントロール、管理するだけではなく、IoT データから価値を引き出すために分析するサービスなども提供されている。

・AI 活用

IoT 同様、クラウド上に蓄積されたデータから新たな価値を見出すために、様々な学習済モデルの AI サービスが提供されている。高度なテキスト分析、チャットボット、需要予測、ドキュメント分析、画像処理、音声処理、レコメンデーションなど、爆発的な勢いでサービスが増加している。

【Next DX】

今後、成熟したクラウド技術を中小企業が活用することで、産業構造の大きな変化が起こることが考えられる。車はもちろん、ゲームや業務アプリケーション、デジタルサイネージなどもクラウドにつながり、街全体のあらゆるものがインターネットにつながってゆくスマートシティ化が進み、その中心にクラウドが位置づけられる時代になる。多様なクラウドサービスがいつでも、どこでも、誰でも容易に活用できる。このようなクラウドサービスの進化によって、中小企業も大企業と同等の IT 資源を利用できるようになった。過去の不良資産を持たず機敏に動ける分だけ中小企業が有利な場面もあり、歴史的転換点とも見て取ることができる。中小企業が、自分たちはベンチャー企業であるという挑戦的なマインドセットを持つことができれば、そのような企業がクラウドサービスを通じて最新の IT 資源を活用して事業を拡大できる。我々情報サービス産業がこの潮流を後押しして、新たな需要を喚起できる可能性がある。技術の流れとしては、今後はソフトウェアだけではなく、ハードウェアを含めたマッシュアップで新たなサービスを誕生させることが想定できる。クラウドに接続する機器がさらに増えることで、クラウド側の処理が膨大になり始め、さらに、IoT 端末側の性能が向上することで、処理がエッジに分散し始める段階に入ると考えられる。メインフレームと端末、クライアントとサーバーといった形で、IT の歴史で繰り返されてきた、集中と分散の流れに入るフェーズに入る。

・ブロックチェーン

サイバー空間での商取引が増大し、世界中の取引主体が多様な取引相手の信用度を推定しながら取引している。国家権力の保護が必ずしも及ばない状況で、会ったこともない取引の仲介者やプラットフォームが信用できるのか、そして取引で生じたデータはどう管理されるのか、不安を抱えながらも拡大傾向は止まらない。このような取引に関連するデータの価値が注目され、データを自己管理するメリットと、共有にして利用可能なデータ量を増大させるメリットを勘案し、分散管理、共同管理の仕組みが模索されている。そのような非中央集権の仕組みのひとつとしてブロックチェーンが注目され、仮想通貨を始めネットワーク上で価値ある情報を分散管理する応用分野が広まりつつある。

サイバー空間で分散管理を実現し、運用上大量のデータを交換する性格からして、クラウドでの実装との親和性が高い。スマートフォンや IoT のエッジ端末などの活用も含めて、データの分散管理の仕組みがいろいろ試されていくだろう。自社が権利を有するデータを適切に管理する一方で、データの共同管理を通じて多様なパートナーと連携するという、場合によっては矛盾しかねない要求を実現する手段になりうる。クラウドのみならず、CAMBRIC 全体に影響する技術として目が離せない

・情報銀行・個人情報流通

今後は個人情報の保護と合わせて、より個人情報を有意義に活用する時代に入る。個人の行動履歴や購買情報等が匿名化され管理されることで提供した本人はより良い恩恵を社会から受けることができるようになる。

昨今、データは次世代の資源と言われるほど、大きな価値を持つようになっているが、クラウドはあらゆる IT 資源にアクセスするだけではなく拡張性が高いため、データ活用でも中心的なインフラになってくる。これからは、IoT でリアルデータの可視化するだけではなく、クラウドを経由することで、「ヒト」や「コト」などのデータも、IoE (Internet of Everything) として集めることができる。そしてクラウドを経由してつながるあらゆるものに対してアップデートされた情報が返される。

石油は紀元前に発見されていたが、長い間人類はその価値に気が付かず、アスファルトや医薬品など、ごく限られた用途でしか活用されなかった。しかし第二次産業革命が起こり内燃機関が発明されたことによって、石油は石炭に変わる世界の最重要資源の座についた。現在は、車や船舶、飛行機などの重工業をはじめ、すべての産業が恩恵を受ける状態になっており、石油を活用して多様なビジネスが展開されている。

現代の「時代認識」としては、前述のような変化を担うのがデータと AI の関係に当たると考えられる。そして、クラウドはデータを蓄積し AI を稼働させるための重要なプラットフォームになっており、CAMBRIC の全領域を考える上でも、クラウド中心の考え方を持つことが重要である。

4.2 AI

4.2.1 本章の概要

AI(Artificial Intelligence)は、日本においては「人工知能」と訳されることが多く、定義としてはコンピュータがあたかも人間のように知能を持って振る舞っているかのような挙動をさせるための科学と技術を指す。

AI の基礎的な研究は 1950 年代に盛んになり、過去に二回のブームを経て現在は第三次の流行期、またピークを過ぎたとも言われている。計算機的能力が飛躍的に向上し、膨大なデータを使用して学習し、高い認識精度を達成できる深層学習を取り入れたシステムや製品が実用化されてきている一方で、過度の期待に対する熱が冷めてきた一面もある。

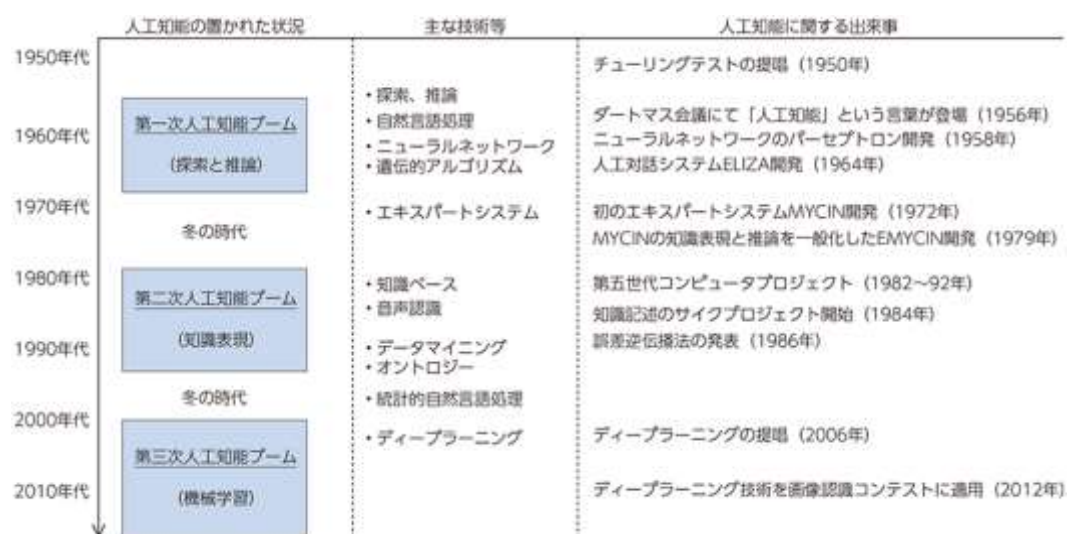


図 21 AI の歴史

本章では JISA 会員企業をはじめとする、情報処理産業に従事する技術者及び経営者が次の 10 年を勝ち抜くために、AI に関して注視したい要素を紹介する。

4.2.2 本章における 4 段階の定義

本章では AI の成熟度に合わせおおそ次のように段階を分類・定義している。

【Basic】

製品・ソリューションとしては一般的に用いられ目新しさはなくなっているが、基礎的な理論や適用について IT 技術者の多くが把握している段階。技術単独での利用に留まらず、得られた結果を活用・応用するビジネスが盛んな状態。

【DX introduction】

実用、商用化の事例が現れ始め、導入する側も投資に対する効果を評価した上で進める段階。導入事例などで新規性をまだ訴求できるものの、リスクについての的確に分析・評価されている保証はない。

【DX evolution】

実証実験などで先行事例が紹介されるなど、研究的要素が残るもののビジネスとして成立するかを見極めている段階。投資的な側面が見受けられる。

【Next DX】

未来を語る際にキーワードとして話題になり、実態が明確ではなく概念的な部分が多い段階。すぐに使える技術ではないが、先行者の利益が大きく見込める可能性が高い。

4.2.3 具体的な項目

【Basic】

ここで挙げる技術は広く出回ってきており、商品・ソリューションの淘汰も始まっている状態である。ビジネスにおいても特別なハードルなく取り入れられるようになってきており、技術そのものの原理を知らなくても Web サービスやオープンソースなどで個人が手軽に利用できる状況が広がりつつある。内容や実際の使い方をよく把握した上でこれらの技術を使うことにより、付加価値を持ったサービスや製品を開発していくことができる。

・音声認識

言語セットを指定して、音声をテキスト化する技術はかなり以前から存在している。1970年代には単語の認識もできるようになっていたが、非常に限られた条件の発話環境が必要であるなど、実用化には課題も多かった。この10年ほどでそれを解決していったのは音声認識そのものと言うよりはコンピュータやネットワークの処理速度が向上し、雑音の多い環境から人の声だけを取り出すような他の技術が進歩したことによるところが大きい。

「使える」ようになった音声認識は文字や文章を認識するだけでなく、音声の物理的特徴量を解析することで喜怒哀楽の推定も可能になった。これにより、文字を起こしただけでは分からなかった話者の感情を分析できるようになり、コールセンターなどでの顧客対応に活用されることも多くなっている。

音声のテキスト化自体を追求するのではなく、テキスト化された音声をどの様に扱ってサービス向上や処理効率化に貢献させるかといった応用力が今後は問われると想定される。

・画像認識

画像の持つ情報量の多さが要因であったものの、画像に写っている物体を検出する技術は機械学習の概念を取り入れることにより大きく進歩した。畳み込みニューラルネット(Convolutional Neural Network)などの適用と、音声認識でも述べたようにコンピュータの処理速度が向上し画像に写っているものが何かを認識し、その物体の動きを観察できるようになった。

コンビニエンスストアでは画像認識を応用した顔認証や商品の識別を実験レベルで導入

するようになってきた。工場で製造した商品の外観検査など、より認識対象を特化させた使い方の提供が各社から進んでいる。

なお画素単位で物体の領域を認識するセマンティック・セグメンテーションは一般的な画像認識としては難易度が高く **Basic** の段階には至っていない。

音声認識同様、単に技術を使いこなすことに留まらず、認識された物体に対して何をどう処理することで、生産性向上など顧客にとっての価値を生み出せるのか、顧客事業に寄与するシステムやサービスを提案することが重要である。

【DX introduction】

先んじて導入をアピールすることで先行者利益を得ることを目論むことが期待できる技術。全体をすべて把握し自身の肉とするにはカバーする量が多くなり難易度が高くなるが、システムインテグレータとしては要素技術を押さえた上で個性を出せる領域を深く、広くしていくアプローチも有効になると思われる。

・需要予測

過去の実績データをもとに行われてきた需要と供給の予測や店舗の来客予測は、**AI** を活用した予測モデルにより可能性を広げている。例としてはタクシーを予測によって効果的な場所に配車することで乗車率や売上を向上させるといった実験も一定の成果を上げていて、製造業での生産管理や小売業における販売計画、仕入れの効率化にも適用範囲が広がりつつある。

・条件付き自動運転(レベル 3)

2021 年、高速道路の渋滞時など限られた条件下においてシステムがドライバーに代わって自動的に運転するレベル 3 自動運転技術を搭載した自動車の商用販売が始まった。

実現にあたっては技術面だけではなく、道路運送車両法の改正など法制面での対応も国家的に進められた結果であり、運転支援となるレベル 2 で市販されている日欧の自動車メーカーがこれに続き自動運転車の開発・販売が加速すると期待される。

自動運転のプロセスである認知・判断・制御において、特に認知プロセスでは撮影された映像やセンサなどで測定した情報をもとに **AI** による処理を行っている。**ASV(Advanced Safety Vehicle:先進安全自動車)**技術である、車線逸脱、車間距離、車線維持、前方障害物被害軽減操舵などの警報、支援、制御装置においてひとつひとつは従来技術の延長線上にあるが、組み合わせにより判断、制御を行うことで実現されている。

【DX evolution】

この段階では確実に利益を見込める可能性は高くないが、業界での覇権を狙うなど、先行者利益を狙う上では挑戦する価値を持つ技術である。研究開発や投資に対して積極的な企業においてはオンリーワンの存在を目指し知見を貯めることも有用と考えられる。

・エッジ AI

現状、GAFA などが提供している AI プラットフォームは、クラウドコンピューティングを活用する形態であり、強烈な計算能力を集約させる利点がある。しかしこの方式では、エッジデバイスがセンサでとらえた現象をネットワーク経由でクラウドに送り、AI が処理、結果を再びエッジデバイスに返すプロセスにおいて通信の遅延が発生することや、エッジデバイスが大量になるとデータの送受信にネットワーク帯域を圧迫するという課題がある。

そこで、エッジデバイス自体に AI を搭載し自律的に判断・制御できるようにするエッジ AI が考え出された。自動車やドローンなどはネットワーク環境が不安定であっても制御できるようになり、工場などの製造現場で活躍する産業用ロボットにおいては製造ラインの管理や機器の予防保全にも威力を発揮することが期待されている。

・AI ガバナンス

AI の社会的な利用により、とるべき行動や意思決定を AI が支援する割合が増え、さらには AI が決定権限を持つようになると、人間が主体的な決定を意図せず阻まれる可能性が出てくる。プライバシーや自己決定をする権利を AI に剥奪されることは、利用者が直接被害を受けることも考えられるため避けるべきである。AI を利用するにあたり技術が先行している状況下において倫理・規制・枠組みをどう整備していくべきか、各企業・組織において利用分野の広がりとともに検討課題になっている。

日本においては、Society5.0 の実現に向けた取り組みの一部として総務省主導の AI ネットワーク社会推進会議が「AI 利活用原則」(図 22)をガイドラインとして示している。例えば AI のセキュリティに留意すべきことを提示しているが、具体的にどんな手段、技術を用いて対処するかは事業者に委ねられている。情報サービス産業の技術者は、今後の動向や法制を見つつ AI 技術を実装、利用をしていく必要がある。

【Next DX】

実用化にはハードルが高く、理論の確立や実証実験に至るまで何年も掛かると考えられる技術要素である。定期的な情報収集や内容の把握に努めることで DX evolution の段階に至った際にビジネスチャンスに乗り遅れることがないようにしておきたい要素として紹介する。



図 22 AI 利用原則 [10]

・量子コンピューティング

量子コンピュータは、従来のコンピュータでは非現実的な長時間を要するような問題を短時間に計算できる可能を有する技術である。

量子コンピュータを気軽に使えるようになれば、より大量・大規模なデータを処理できるAIを実現できる可能性が広がる。その結果、例えば都市部の交通最適化、マーケティングや創薬等の分野における解析・予測などにかかる時間が大幅に短縮される可能性がある。そうなれば、商品の開発サイクルの短期化や、需給バランスの最適化等、様々な効果が期待できる。

・人間らしいコミュニケーション

顧客対応に音声認識を利用した自動応答はすでに実現されているが、方言への対応、複数名での会話における話者の特定、状況や文脈に依存した発話の意図理解など、解決が期待される課題もある。人間が無意識に行っているように、特定話者の発言だけを抽出することや、言語の文化的背景や文脈を踏まえて理解するために自然言語処理技術を組み合わせることなどの発展形が考えられる。そのような技術をロボットやコネクティッドカーと連動させることや、AIにコンシェルジュとして人間を支援させることなど、高度なコミュニケーション能力を備えて人間に寄り添うAIの実現も期待される。

近年のAI関連技術の進歩は目覚ましくNext DXに示した技術要素によって既存のシステムや業務も大きく変わる可能性を秘めている。AIに仕事を奪われると警戒するよりも、人間の関与や対応が必要な領域で、人間がその能力を効果的、効率的に発揮できるようにすることを目指して、AIを応用するために必要なスキルを高めることが大切である。

4.3 モビリティ

4.3.1 本章の概要

持ち運び可能なデバイスによってどこからでもコンピュータサービスにアクセスできる移動性を表すモビリティは、近年非常に大きく進化、発達した領域であり、スマートフォンなどのモバイルデバイスを利用する私たちの生活や仕事、娯楽において、直接的かつ身近に大きな影響を与えているカテゴリ（潮流）である。

2007 年 1 月 9 日、サンフランシスコで開催された “Macworld Expo 2007”において、Apple 社の CEO スティーブ・ジョブスが発表した iPhone は、電話機能・iPod（デジタルオーディオプレイヤー）・インターネット・電子メールをあわせ持つ全く新しいタイプの携帯型情報端末として世界の携帯電話業界を震撼させた。その後、Android OS を搭載した端末も加わり、いわゆるスマートフォンは瞬く間に世界中へ広まっていった。半導体の高集積化、ネットワーク通信技術・バッテリーの小型大容量化など各種要素技術の進歩により、最新のスマートフォンは初代 iPhone から驚くほどの進化を遂げている。

少なくとも現代の日本の社会において、スマートフォンは情報端末の枠を超えて人々の生活に欠かせない必需品として、子供から大人、老人に至るまで多くの人々に愛用されている。先日、久しぶりに電車で通勤したが（この所、コロナ禍のためテレワーク勤務が続き出社は月に数回となっている）、比較的空いている車内で周りを見渡したところ、ほとんどの人がスマートフォンを見ており、新聞はゼロ、雑誌もゼロ、文庫本を読んでいる人が数人という状況で今から 20 年、30 年前の通勤風景を思えば隔世の感がある。

業務アプリケーションの開発時に想定する入出力装置の中で、スマートフォンが最優先になってきており、情報端末としてもスマートフォンが必須デバイスとなりつつある。

スマートフォンを中心とするモバイルデバイスの進化は今後さらに進み、クラウドコンピューティング、AI、ビッグデータ、IoT など CAMBRIC の他の技術との連携、相互作用も一層深まると考えられる。以下では、モビリティの現状を整理し、5 年後、10 年後の近未来の姿を考察する。

本章ではモビリティで実現する要素技術やサービスの項目として、①スマートフォンに代表されるモバイルデバイスのハード・ソフトの現在と未来の姿について、②モバイルデバイスにより実現しているまたは今後実現可能なサービスについて、③モビリティの進化に大きく左右するネットワーク通信技術について取り上げた。

なお、対象とするモビリティは、スマートフォンやタブレット、ウェアラブル端末などのいわゆる人が携帯して移動できるモバイルデバイス関連の技術とサービスであり、MaaS に代表される移動交通手段としてのモビリティは含めていない。

4.3.2 本章における 4 段階の定義

【Basic】

既に実現し、量産化、ビジネス化されているモバイルデバイスの技術やサービス。ハード、ソフト、サービスの開発は GAFA+M のビッグテックに代表される巨大資本によるところが大きい。私たち JISA 会員としては、現時点で把握しておかなければならない技術やサービスである。

【DX introduction】

先進的な技術・サービスで一部のユーザーでは先進事例として使われ始めている。実用化にはリスクを伴うが、私たち JISA 会員としては、遅れずにフォローし積極的に研究を始めるべき項目と思われる。

【DX evolution】

概念提唱やコンセプトモデルが出始めた技術・サービス。世の中に普及するにはまだ数年先の見通しであるが、CAMBRIC の他の要素技術と相互作用し大きく進展する可能性がある。私たち JISA 会員としては、進展の状況を継続して注視すべき項目である。

【Next DX】

モビリティの進化形として多分に夢の要素が強い。研究段階であり、あったらいいなと思える技術やサービスである。

4.3.3 具体的な項目

【Basic】

スマートフォンに代表されるモバイルデバイスの普及はここ 10 年で急速に進み、スマートフォンは持っていて当たり前の状況になっている。デバイス性能の進化と共に無線通信技術の発達によりコンピュータネットワークを介したクラウド経由のスマートフォンアプリケーションが一般的になってきた。Twitter、YouTube などの SNS はスマートフォン利用が前提となっており、動画視聴や各種 Web サービスも広く使われている。デバイス別に見るとスマートフォンの他にタブレットやウェアラブル端末も用途に応じて普及してきた。VR（仮想現実）を体験できるヘッドマウントディスプレイによる VR ゲームも静かなブームになっている。

モビリティの普及は 4G/LTE を主流としたモバイル通信の高速大容量化と Wi-Fi、Bluetooth など各種無線通信技術の発達が大きいに寄与している。

・モバイルデバイス／スマートフォン

2007 年 1 月 Apple 社の初代 iPhone 発表から少し遅れて同年 11 月に Google 社から Android OS がオープンソースとして発表され、翌年から Android 端末の発売が開始された。現在のシェアは全世界で、Android 74.4%、iPhone 24.9%、日本では Android 37.1%、iPhone 62.8%となっている。(2020 年 11 月アウンコンサルティング調べ) 先進的な技術や

サービスの発表を iPhone が先行し、Android 勢が追従するという構図は発売開始から変わっていない。

高性能化、多機能化が進み、カメラ・ビデオ・音楽再生・録音・動画視聴など以前はそれぞれ個別のデバイスが担っていた役割をスマートフォン 1 台で完結している。コンピュータとしての性能も飛躍的に進化しており、加えてモバイル無線回線の高速化によりクラウドコンピューティングを利用する上での情報端末になっている。

スマートフォンの進化の度合いについて iPhone を例に初代と最新モデルで比較してみる。

	初代 iPhone	iPhone 12 Pro
iOS	iOS 1.0	iOS 14
CPU	ARM 1176JZ(F)-S 412MHz	A14 Bionic チップ 2.99GHz
メモリ	LPDDR SDRAM 128MB	非公開 (6GB)
ストレージ	4GB、8GB、16GB	128GB、256GB、512GB
ディスプレイ	3.5 インチ液晶 解像度 320×480 ピクセル	6.1 インチ有機 EL 解像度 2,572×1,170 ピクセル
センサ	現在位置取得、加速度センサ、近接センサ、環境光センサ	GPS、FaceID、LiDAR スキャナ、気圧計、3 軸ジャイロ스코プ、加速度センサ、近接センサ、環境光センサ
カメラ（背面）	200 万画素 動画撮影機能：なし	12MP 超広角、広角、望遠 4K ビデオ撮影
カメラ（正面）	なし	12MP TrueDepth カメラ
バッテリー	1,400mAh	非公開 (2,815mAh)
発売日	2007 年 6 月	2020 年 10 月

・タブレットコンピュータ

iPad、Android タブレット端末を中心に高性能化が進み、Apple Pencil などのタッチペンや折りたたみ式のキーボード等のアクセサリも充実してきている。スマートフォンとは別用途のモビリティとして活躍している。

・ウェアラブル端末

Apple Watch に代表される腕時計型のウェアラブル端末も一般化している。主にスマートフォンと連動して機能し、GPS、コンパス、気圧高度計、ジャイロ스코プ、心拍センサや加速度センサなどの各種センサにより腕時計としての機能ばかりでなく、フィットネス測定、転倒検知など健康管理の補助デバイスとしても活用されている。

・モバイルデバイスにより実現しているコンピュータサービス

クラウドコンピューティングの発達と通信環境の高速・大容量化によりスマートフォンアプリケーションの活用が進んでいる。SNS、スマートフォン決済、動画のネット視聴・ネット配信など従来 PC で利用されていたサービスのほとんどがスマートフォンで行われている。ネットショッピングやオンラインバンキング、新幹線の座席予約などあらゆるサービスのアプリケーションについても複雑な処理を除いては、ほぼスマートフォンで利用可能となっている。

・スマートフォンで稼働するアプリケーション（ネイティブアプリケーション）の開発

iOS、Android それぞれのスマートフォン上でアプリケーションアイコンから起動するネイティブアプリケーションの開発については以下の通り。

iOS 開発言語：Swift、Objective-C 開発環境（IDE）： Xcode

Android 開発言語：Kotlin、Java、C# 開発環境（IDE）： Android Studio

クロスプラットフォーム（iOS、Android 両方で稼働）

開発言語 : Dart フレームワーク：Flutter

開発言語 : JavaScript フレームワーク：React Native

・VR（仮想現実）

Virtual Reality（仮想現実）を体験できる HMD（ヘッドマウントディスプレイ）がようやく手頃な価格になってきた。Oculus Quest や PlayStation VR を使った VR ゲームやテーマパークなどのエンターテイメント領域における市場規模は拡大している。

・通信技術 4G/LTE、Wi-Fi、Bluetooth、NFC、LPWA、UWB

携帯無線通信（モバイル通信）は高速化、大容量化が進み 3G の下り最大 14.4Mbps から 4G/LTE（Long Term Evolution）では 150Mbps に飛躍的に速くなっている。また LTE では低遅延化と多接続化も実現している。

無線 LAN の規格である Wi-Fi（IEEE802.11）は異なるメーカーの機器間での相互接続性が保証されているため、無線 LAN ルーターのアクセスポイントを経由してインターネットに接続できる。企業内、家庭内、店舗内や駅、鉄道、ホテル、空港などでも Wi-Fi を使った無線 LAN 接続が広がっている。

近距離無線通信規格の Bluetooth はイヤホン、スピーカー、キーボード、マウス、スマートペンなどの周辺機器との通信に利用されている。

NFC (Near Field Communication) は ISO で規定された近接型無線通信方式で、タッチするだけで NFC 対応機器とのデータ通信を行える。スマートフォンの Suica やおサイフケータイのタッチ決済に利用されている。

LPWA (Low Power Wide Area) は省電力で長距離の無線通信が可能という特性を持った IoT を実現するための低電力広域ネットワークである。IoT デバイスの通信に使われている。現在位置をスマートフォンで確認できる GPS 端末や、アプリケーションで施錠/解錠した情報をクラウドに蓄積するスマートロックとの通信に使われている。

UWB (Ultra Wide Band) は超広域無線通信でレーダーなどの機器に応用されてきたが、スマートフォンでは近距離であれば高精度な測距、測位が可能という UWB の特長を活かして、iPhone の AirDrop や Android の Nearby Share の機能に使われている。

【DX introduction】

スマートフォンは発売から 10 数年が経ち、形としてはほぼ成熟期を迎えていると思われる。CPU やディスプレイ、メモリ、カメラ、各種センサ、バッテリーなどの個々のデバイスの進化と性能向上が進んでいる。先進的なモビリティの例としてはウェアラブル端末の進化が挙げられる。Microsoft の Hololens など AR グラスによる AR (拡張現実) は従業員の教育訓練現場や医療現場での活用が始まっている。

通信技術分野では第 5 世代移動通信システム (5G) のサービスが開始された。今現在のサービスエリアはごく限られているが、高速大容量のデータ通信による新しいスポーツ観戦の実証実験や完全自動運転の実現に向けての研究開発が進んでいる。

・モバイルデバイス

AR/MR グラス、スマートグラスによる XR (AR、MR) の実現

拡張現実 (Augmented Reality、AR)、MR (Mixed Reality) 複合現実など現実世界と仮想世界を重ね融合させるコンピュータ技術は AR/MR グラス、スマートグラスの進化と主にクラウドコンピューティングの発達により実用化が進んでいる。AR/MR グラス、スマートグラスの開発には Microsoft を始め Facebook、Apple、Google、アマゾンも参入してきている。

AR、MR の先進事例としては、ウォルマート社の新サービスや顧客対応での従業員への VR トレーニング、ANA の客室乗務員による緊急事態や機内設備の安全確認の VR 訓練、DHL の倉庫における Google Glass を使ったピッキング作業などがある。

・通信技術

5G、プライベート LTE

・ 5G

国際電気通信連合が定める規定 IMT-2020 を満足する無線通信システムで、高速大容量（eMBB : Enhanced Mobile Broadband）、低遅延（URLLC : Ultra Reliable Low Latency Communications）、多数同時接続（mMTC : Massive Machine Type Communications）の 3 つを定義している。

日本では 2020 年 3 月に NTT ドコモ、KDDI、ソフトバンクがそれぞれ eMBB を実装した 5G のサービスを始めた。NTT ドコモの 5G サービスでは、下り最大 4.2Gbps、上り最大 480Mbps の高速・大容量通信を実現している。

・ プライベート LTE

個人や企業などの非モバイルキャリアが自営で LTE ネットワークを構築する仕組みがプライベート LTE であり、情報保護の観点やセキュリティに LTE の SIM 認証を導入する動きが海外の空港内や工場などで広がりつつある。

【DX evolution】

5G ネットワークが普及することで、より CAMBRIC の他の要素との連携が進み、高速・大容量のデータ通信が前提となる新たなサービスが生まれている。仮想現実の世界では SR（代替現実）の技術が登場している。通信技術においてはローカル 5G の実証実験が開始された。

・ モバイルデバイスの活用事例

スマートフォンによるホームセキュリティ、家電のリモート操作

スマートウォッチによる健康管理、未病対策

MaaS（Mobility as a Service）によるキーデバイス（経路検索、指示、認証、決済）

・ SR

SR（Substitutional Reality）代替現実とは仮想世界を現実の世界に置き換えて認識させる技術で、視覚や聴覚だけでなく触覚なども組み合わせて使うことで仮想世界をより現実のように体験できる。実証段階ではあるが、将来的に認知療法など医療分野での活用が期待されている。

・ 通信技術 ローカル 5G

地域、産業のニーズに応じて地域の企業や自治体が個別に構築・運用する 5G ネットワークで、超高速・大容量の専用ネットワークやセキュリティを確保した通信が可能となる。建設/工事現場、空港、港湾、物流倉庫、工場、病院、スタジアム、鉄道などで高精細映像監視、遠隔操作、高精細映像配信、遠隔診療などの実証実験が各地で始まりつつある。

【Next DX】

革新的な機能の登場が頭打ちとなりつつあり成熟期を迎えているスマートフォンについて、近未来のスマートフォンはどのような形になるのか。コンセプトとしては次のようなスマートフォンが考えられている。

・透明スマートフォン

パナソニックは透明な OLED ディスプレイを開発しており、将来的に透明なスマートフォンの実現も期待される。

・MR（複合現実）を使った仮想スマートフォン

スマートグラスで MR を使い、映像はグラス上に表示し、スマートフォンの操作は手の動きでブラウザを開いたりアイコンをタッチしたりキーボードを打ったりする。

・腕時計型スマートフォン

「The Cicret Bracelet」という腕輪タイプのウェアラブル端末で、開発は中止になったがコンセプトが面白い。（YouTube に動画が載っている）腕の表面に画像を投影し、指の動きをカメラが認識することでスマートフォンの操作をする。

・通信技術 6G

5G のサービスが始まったばかりではあるが、次の世代に向けて NTT ドコモは 2020 年 1 月に 6G に関するホワイトペーパーを公開した。2030 年頃のサービス開始を目指して業界の研究開発は始まっている。

6G のコンセプトは超高速・大容量通信、超低遅延、超カバレッジ拡張、超高信頼通信、超低消費電力・低コスト化、超多接続&センシングであり、実現すれば夢のようなモバイル通信が可能となる。特に注目するポイントとしては現在の移動通信システムがカバーしていない空・海・宇宙などを含むあらゆる場所でのユースケースを想定した「超カバレッジ拡張」を目指している点である。

パロアルト研究所のマーク・ワイザーが 1991 年にユビキタスコンピューティング（ubiquitous computing）を提唱してから 30 年を経て、スマートフォンの出現と発達によりユビキタスの概念はほぼ実現に至っていると思われる。しかしながら、我々の社会が DX のその先に進むためにはモビリティの更なる進化・発展が必要となることは言うまでもない。スマートフォンやウェアラブル端末の進化と通信の高速・大容量化、AI、クラウド、IoT との更なる連携・融合により、まさに、いつでも・どこでもコンピューティングがより高次元の姿で実現するであろう。

4.4 ビッグデータ

4.4.1 本章の概要

PC・スマートフォンをはじめとして、インターネットにつながる機器である IoT デバイスが増加している。また、SNS 等の普及によって、誰でも気軽に様々なデータをインターネット上に保存できるようになっている。これらによる様々な機能・活動によって蓄積された膨大なデータの中で、Variety（バラエティ）、Volume（ボリューム）、Velocity（ベロシティ）の「3つのV」のいずれかの特性を持っているデータをビッグデータと定義する。

V	定義	意味
Variety	データの多様性	テキスト、画像、音声といった多様な情報とファイル形式
Volume	データ量	膨大なデータ量
Velocity	データ生成速度・頻度	リアルタイムで収集できるデータ・秒単位など高頻度のデータ

4.4.2 本章における4段階の定義

【Basic】

ビッグデータに関与する以前に、情報通信技術、データを日常的に利用する上で、理解すべき事項を取り上げる。具体的には、データの利活用に関する政府系機関が提示しているガイドラインを確認することから始める。広く一般に公表されており、これらに基づく書籍やセミナーも存在し、専門家の支援を受けることも容易である。

【DX introduction】

ビッグデータを利用していくにあたり、商品化された技術、あるいは既に導入された技術を取り上げる。適用事例について商品化を行った企業から情報を収集することは容易である。また、導入する際には商品化を行った企業からの支援を受けやすい。

【DX evolution】

ビッグデータの利用をより深化させるためには、先進的な適用事例を知る必要がある。漫然とデータを収集しても、実際に役立てることは難しい。ここでは、先進的な適用事例を取り上げることで、具体的なビッグデータへの取り組みの一助とする。

【Next DX】

データは石油に代わる新たな資源と呼ばれている。資源としてのデータを活用すること、また、活用にあたり留意することを取り上げる。

4.4.3 具体的な項目

【Basic】

データの利活用に関する政府系機関が提示しているガイドラインとして、総務省の ICT スキル総合習得プログラムと、経済産業省のデータ利活用のポイント集について確認する。

・ ICT スキル総合習得プログラム（総務省） [11]

総務省が ICT（情報通信技術）に関する教材の「ICT スキル総合習得プログラム」をオープンデータとして提供している。本プログラムは、各 5 講座からなる 4 つのコース（1.データ収集、2.データ蓄積、3.データ分析、4.オープンデータ・ビッグデータ利活用事例）によって構成され、ICT に関する基礎知識・基礎技術を学ぶことができる。コース 1、2 はイントロ的内容で、コース 3、4 にビッグデータに関する事例等が紹介されている。

コース 1：ICT・データの利活用の全体像を示した後に、IoT によるデータ収集を中心に扱う。

コース 2：データ蓄積を中心にクラウドコンピューティングを取り扱う。

コース 3：データ分析や人工知能を取り扱う。ICT の発達と普及によって収集されるようになったビッグデータの特徴及びデータクレンジングの重要性を論ずる。

コース 4：オープンデータ・ビッグデータに関する様々な利活用事例を取り扱う。

・ データ利活用のポイント集（経済産業省） [12]

企業におけるデータ利活用を一層推進する観点から、データ利活用の具体的なイメージを示しつつ、データ利活用に際しての留意点を整理し、対策を紹介することで、データ利活用を志向する企業の不安を少しでも払拭することを意図して記載されている。

【DX introduction】

データの利活用に関する商品化された技術や導入されている技術として、「ETL と ELT」、「データレイク」、「オープンデータ」、「ストリームデータ処理」、「大規模分散」、「データマイニング」、「テキストマイニング」、「ブロックチェーン」について確認する。

・ ETL と ELT

ETL とは「Extract（抽出）・Transform（変換）・Load（格納）」の略であり、この順にデータを処理する。ELT は、「Extract（抽出）・Load（格納）・Transform（変換）」の略であり、処理の順番が ETL と異なる。参考：ETL vs ELT 5 つの重要な違い [13]

・ データレイク

データレイクは構造化/非構造化データやバイナリ等のファイル含めたデータを一元的に格納するデータリポジトリである。一般的に、データレイクはレポート、可視化、分

析、機械学習に利用されるデータを一カ所に集約します。データレイクはリレーショナルデータベースの構造化データや、半構造化データ、非構造化データ、バイナリデータを含めることができる。

また、データレイク型は統合型、分散型といった他のデータ基盤と比較して、柔軟性・拡張性は高く、また、サイロ化リスクは低いという利点があるが、設計、運用は難しいと言われている。

・オープンデータ

オープンデータは下記の3点を満たしたものと定義している。

- 1) 営利目的、非営利目的を問わず二次利用可能なルールが適用されたもの
- 2) 機械判読に適したもの
- 3) 無償で利用できるもの

また、オープンデータビジネスとして下記の3タイプが定義されている。

- 1) 付加価値型：既存ビジネスの価値を高めるためにオープンデータを利用する
- 2) 新価値創造型：オープンデータを含む多様なデータをかけ合わせ、高度な分析によって未来を予測する
- 3) プラットフォーム型：特定の領域のデータを大量に集め、プラットフォーム化する。

・ストリームデータ処理

ストリームデータ処理とは、一定期間のデータを一括で処理するバッチ処理と比べて、無制限に発生する大量のデータをリアルタイムに処理すること。それにより、データの鮮度を保ちながら意思決定のスピードを促進する。

・大規模分散

データを複数のコンピュータに分散させ並列して処理を実行させることで、時間のかかる大容量データを扱う計算処理を短時間で実行させることができる。DWH や AI の分析用データや DBMS で扱うことが難しい巨大データを多数のサーバーに分散して格納し処理を行う。

・データマイニング

データマイニングとは、統計学、パターン認識、人工知能等のデータ解析の技法を大量のデータに網羅的に適用することで知識を取り出す技術のこと。通常のデータの扱い方からは想像が及びにくい、発見的な知識獲得が可能であるという期待を含めていることが多い。より具体的には、企業が収集する大量のデータを分析し、有用なパターンやルールを発見し、マーケティング活動を支援する統計的手法やツールの集合体とも言える。

・テキストマイニング

テキストマイニングとは、構造化されていないテキストデータから、新しい情報を抽出する分析手法。大量のデータから情報を抽出することで、文章中の単語の使用頻度や傾向、相関関係など、様々な特徴を分析する際に用いられる。情報抽出の性能を向上させるために、自然言語処理が主に用いられます。テキストマイニングの対象としては、お客様からのアンケートの回答やコールセンターに寄せられる質問や意見、電子掲示板やメーリングリストに蓄積されたテキストデータなどがある。

・ブロックチェーン

ブロックチェーンでは、ネットワーク内で発生した取引の記録を「ブロック」と呼ばれる記録の塊に格納する。個々のブロックには取引の記録に加えて、一つ前に生成されたブロックの内容を示すハッシュ値と呼ばれる情報などを格納する。生成されたブロックが、時系列に沿ってつながっていくデータ構造が、まさにブロックチェーンと呼ばれる理由である。ブロックチェーンは、「二つの当事者間の取引を効率的かつ検証可能で恒久的な方法で記録することができるオープンな分散型台帳」となる。分散型台帳として使用する場合、ブロックチェーンは通常、ピアツーピアのネットワークによって管理され、ノード間通信と新しいブロックの検証のためのプロトコルに準拠している。一度記録されたブロックのデータは、後続のすべてのブロックを変更しない限り、遡及的に変更することはできない。

【DX evolution】

先進的な適用事例として、「需要予測の進化」、「データの分析活用による食品ロスゼロ化」、「防災シミュレーション」、「設備の予知保全」、「農業の自動化」について確認する。

・需要予測の進化

企業においては、販売計画業務や調達業務（生産計画や仕入業務）に需要予測システムを使用することにより、業務の生産性向上及び業務の効率化を図ることが可能になっている。具体的な事例は以下の通り。

- 1) ビックデータを分析し、需要予測システムを活用して販売計画の精度向上を図ることが可能になっている。
- 2) AI 技術の進展により、需要に影響のある要因データを収集することも可能となっている。過去の販売時系列データだけの分析から、販売に影響のある外部要因を分析することにより、さらに予測の精度を向上することも可能になっている。

・データの分析活用による食品ロスゼロ化

企業において、ビッグデータやAIを使い、食べずに捨てられる食品ロスを減す試みが進んでいる。具体的な事例を下記の通り。

- 1) 回転寿司では過去データから無駄が出ないネタの量を自動で算出
- 2) スーパーでは AI が天候に基づき需要を予測
- 3) 新型コロナウイルスの影響で売れ残った食材もインターネットで売買される

・防災シミュレーション

地震、津波、河川氾濫など自然災害に対して、現象をモデル化した数値シミュレーションモデルを構築し、防災・減災支援、計画策定のための予測・評価を行う。

・設備の予知保全

予知保全とは、連続的に機器の状態を計測・監視し、設備の劣化状態を把握または予知して部品を交換・修理する保全方法を意味する。定期的にメンテナンスを行う予防保全に対し、予知保全は機械や設備の状態を監視して故障や不具合の兆候が出たらメンテナンスを行う。これにより、予防保全で発生する定期的な部品の交換や修理で、まだ使える部品でも交換してしまうといった無駄の発生を抑えることができる。

・農業の自動化

農林水産省は、「スマート農業」を「ロボット技術や ICT 等の先端技術を活用し、超省力化や高品質生産等を可能にする新たな農業」と定義している。農業という分野は、特にこれまで IT や ICT といった技術とあまり縁がないと思われがちだった分野だけに、導入が難しいとされてきた。それがここ数年の間に一気に加速し、規模の大小を問わず、導入も急速に拡大しつつある。

【Next DX】

新たな資源として、データを活用していくには、データは、誰かが独占して使うよりも、様々な事業体が共有して活用する方がより多様な価値を提供できる。例えば、医療の場合、一人の患者のデータを一万人の患者のデータに加えることで個人と全体双方の価値が高まる。

■医療における想定

一人の患者は、全データから自分の症状にあった薬を選び、かつ適切なタイミングを判断することができる。（後述の個別化医療を参照）また、対象とするデータの規模が拡大することで、予測精度が高まるとともに、全体の価値も高まる。一方、信頼して提供したデータが悪用されれば、人々はデータを提供することに躊躇するようになる。（後述のデジタル倫理を参照）

上述のように、データは共有して活用でき、かつ信頼を損なわない仕組みを構築していく

ことが Next DX として要求されることになっていく。

・個別化医療

生命科学の進歩により、ゲノム解析が普及し、遺伝子レベルの情報が急速に臨床の現場に活用されてきている。個別化医療とは、こうして判明した遺伝子塩基配列の個人差や、遺伝子・分子異常を検査し、その特徴に対して、ピンポイントで効果が期待できる治療薬を用いる次世代型の医療である。

・デジタル倫理

デジタル倫理は、オンラインプラットフォームなどのデジタル媒体を、倫理的で専門的、そして健全な方法で管理することを指す。AI（人工知能）や IoT（モノのインターネット）などのテクノロジーが発達する中、使い方を間違えると危険となりえる。では、何が間違った使い方なのか、テクノロジーはどんな判断を行い、人々はそれをどの様に取り扱うべきか、などがデジタル倫理の領域である。

デジタルトランスフォーメーションが進展し、それとともにビッグデータの扱えるデータは、「断片的なデータや単なる数値データ」から「周囲と関連したデータや意味を持った情報」に変わる。そうなることと表層的な内容から深層的な内容に基づく判断を行うことができるようになる。そうなることで資源としてのデータの有効活用がより一層進むことが期待できる。そのためには、誰もがビッグデータを扱えるよう技術的な進化や教育の充実、デジタル倫理の整備などが必要である。

4.5 ロボティクス

4.5.1 本章の概要

一般的に「ロボティクス」とはロボットの設計・製作・制御を行う「ロボット工学」を指すことが多い。しかし、本章においては、学問や技術としてのロボティクスではなく、その結果生み出される事例である「ロボットそのもの」に着目して解説することとする。

ロボットの歴史は長く、古い例としては、ヨーロッパ等において作られた「オートマタ」、日本においては伝統的な機械仕掛けの人形である「からくり人形」等が挙げられる。(NEDO ロボット白書 2014 [13]) 1960 年代にはアメリカ合衆国で産業用ロボット「ユニメート」が開発されるなど、要素技術の発展とともに、ロボットも発展してきた。

日本においては、1980 年代以降、製造現場、特に、自動車産業、電気電子産業を中心に産業用ロボットが普及してきた。

以前のロボットの定義は『『センサ』『知能・制御系』『駆動系』の 3 つの要素技術を有する知能化した機械システム』（ロボット政策研究会報告書 [14]) と定義されていたが、2010 年代に入り、ロボットに次に示す 3 種の大きな変化が見られた。

- ・自ら学習し駆動するロボットへと「自律化」
- ・様々なデータを自ら蓄積・活用する「情報端末化」
- ・相互に結びつき連携するロボットへ「ネットワーク化」（ロボット新戦略 [15])

近年では、人工知能等のテクノロジー進化が加わり、さらにその実用性を高めている。以前は SF 等で描かれるだけであり、実用化されることが少なかったサービス分野のロボットも台頭してきている。

また、現在、コロナウィルスの蔓延により、ソーシャルディスタンスが求められる中、人との接触を控えることが可能となるロボットの重要性は増し、活用領域は益々広がると思われる。そういった状況を勘案し、本章においては、総務省による分類 [16]を参考とし、主に使用用途に着目した以下のロボットの分類を用いることとする。

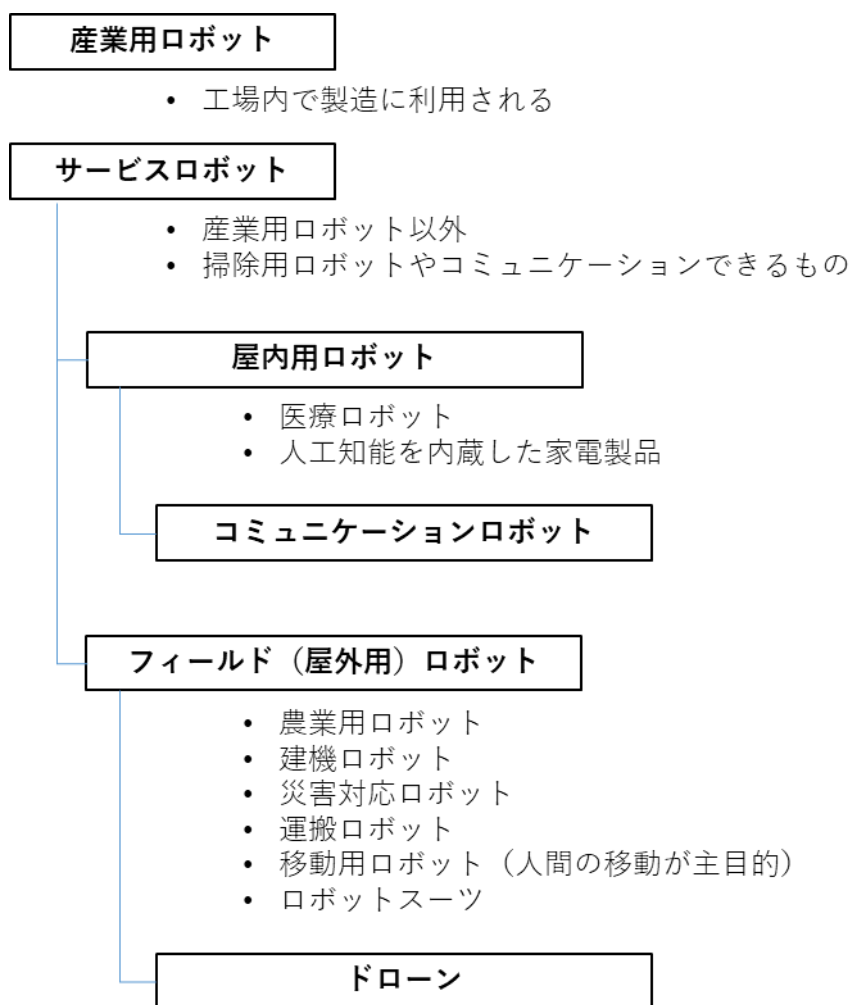


図 23 ロボットの分類

なお、本章においては、前述した通り、技術要素が統合された結果としてのシステム技術や事例を対象とすることとし、以下に示すような、ロボットを構成する様々な個別の技術要素は対象外とする。

- ・ センシング技術
- ・ 制御技術
- ・ 動力、アクチュエータ
- ・ 認識技術

また、いわゆる「bot」と呼ばれる、作業を自動化するソフトウェアプログラムも対象外とする。

4.5.2 本章における 4 段階の定義

ロボットの歴史は長く、現在においては、多くの技術要素によって構成されるとともに、その適用分野も広範囲にわたっている。また、ロボットの定義や役割も時代や技術の進歩と

ともに移り変わる。

加えて、同じ分野のロボット（例：産業用ロボット）をとってみても、既に深く浸透し、産業にとって必要不可欠な存在となっているものから、最先端技術を用い、まだまだ適用事例の少ないものまでその進展度合いは様々である。

よって、本章においては以下の考え方によって各種ロボットを4段階に分類するものの、同じ分野（例：産業用ロボット）においても、異なる段階に分類される事例が見られることを留意願いたい。

【Basic】

既に身の回りにありふれているロボット。既に産業に浸透しているロボット。

【DX introduction】

比較的新しく実用化されたロボット。近年注目されているロボット。

【DX evolution】

AI など、CAMBRIC に代表される最新技術要素をフル活用したロボット。

世の中に出始めたばかりのロボット。

【Next DX】

概念や考えレベルが提唱されているロボット。「あったらいいな」というロボット。

4.5.3 具体的な項目

【Basic】

ここでは、「従前から実用化されているもの」、また「比較的近年実用化されたものの急速に普及し、既に企業において採用することが当たり前になっている、社会の一部として扱われているもの」を取り上げる。

例えば、産業用ロボットは、普及しはじめてからの期間も長く、現在では多くの製造現場で利用されている。そして、安定した品質の確保、労働力の代替、生産性の向上に大きく貢献している。

一方、比較的新しい概念であるサービスロボットに関しても、生活分野などに急速に浸透し始めており、身の回りに当たり前にあるロボットも多くなっている。
この段階に分類されるロボットを以下に示す。

- ・ 従来型の産業用ロボット
- ・ 従来型の遠隔操作型ドローン
- ・ コミュニケーションロボット
 - Pepper（ソフトバンクロボティクス）
 - ロボットトイ、ペットロボット：aibo（SONY）
- ・ 家電

掃除ロボット：Roomba (iRobot)

【DX introduction】

ロボットに関する技術は日進月歩であり、以前は概念レベルで提唱されていたものが、既に実用化されているものも少なくない。また、それらのうち、近い将来【Basic】として普通に身の回りで見られるようになるものも少なくないだろう。ここでは、比較的新しく、実用化され普及が始まっているロボットや、現在注目されているロボットを取り上げる。この段階に分類されるロボットを以下に示す。

・フィールドロボット

農業用ロボット（例：収穫用ロボット、自動運転農機）

建機ロボット（例：鉱山無人化システム、遠隔モニタリング）

災害対応ロボット（例：救助・捜索・情報収集用ロボット）

運搬ロボット（例：AGV (Automatic Guided Vehicle)、配膳ロボット）

ロボットスーツ（例：医療・介助用パワードスーツ）

・コミュニケーションロボット

見守りロボット

（例：パルロ (FUJISOFT)、タピア (MJI)、ベッド内蔵型見守りロボット）

教育ロボット

（例：レゴ エデュケーション SPIKE プライム (LEGO Group)）

【DX evolution】

近年のロボットの特徴として、AI や IoT 等、CAMBRIC に代表される ICT 技術を多分に活用していることが挙げられる。例えば、産業用ロボットにおいては、従来のようなプログラミングのみで動くものではなく、機械学習によって自動的に自らの動きを調整していく、といったものも見られる。また、それとともに、小型化や法規制の緩和により、柵で隔てることなく人とロボットの共同作業が可能となり、人との協働作業を前提としたロボットも出てきた。

一方、移動用ロボットの進化も目覚ましい。各種センサや AI を活用した自動運転車の商用化も近く、Honda は「自動運転レベル 3（条件付き自動運転）」に求められる国土交通省の形式指定を取得し、自動運行装置を搭載した「LEGEND」を 2021 年 3 月に発売した [17]。

コミュニケーションロボットにおいては、人間が遠隔から操作し、人間は実際にその場所に行くことなく、ロボットの身体でいろいろと体験できる、アバターロボットも実用化に近い。このように、従来では SF 等の中で描かれていたロボットが世の中に出始めている。この段階に分類されるロボットを以下に示す。

- ・産業用ロボット（例：協働ロボット）

- ・サービスロボット

- フィールドロボット

- 移動用ロボット（例：自動運転車）

- 運搬ロボット（例：AMR（Autonomous Mobile Robot））

- コミュニケーションロボット

- アバターロボット

【Next DX】

今までもそうであったように、社会の発展、取り巻く環境の変化、技術の進歩、といった様々な変化の中、今後もロボットの果たす役割も変化し、ロボットそのものも進化していくと思われる。

例えば、今後、DXの普及がさらに進み、Society5.0の社会が実現されるためには、仮想世界（サイバー空間）と現実世界（フィジカル空間）を高度に融合させ、経済発展と社会課題の解決を両立することが求められるが、そこにおいて、ロボットはAIやIoTと並び、重要な要素となると考えられている。

また、SDGsや環境保全を達成しつつ、企業の更なる発展を目指すためにも、ロボットは重要な役割を担うであろう。そういった「DXの先の未来」を見据えて、新しい概念や考えが提唱されているロボットや、研究、実用化が進められているロボットも多い。この段階に分類されるロボットを以下に示す。

・施設のロボット化

施設のロボット化と聞くと「工場」を思い起こすことが多いが、将来的には、病院や図書館といった、従来ロボットとの関わりが、それほど深くなかった施設にまで、ロボットの導入が進むと考えられる。

また、ロボット化が進んでいる「工場」に関しても、依然として、その対象範囲は、主として生産工程にとどまることが多い。「作業者の支援を行う」「特定の作業をロボットに任せる」といったことは広く普及しているが、将来的には、生産計画の立案、生産に必要な部品の積み下ろしや、製品の梱包、搬出といったあらゆる工程を自動化する「無人化」が実現されるであろう。

それらの実現には、ロボットをクラウド上で一元管理、施設の状態を監視するためのIoTや、そこから発生するビックデータの処理、また、高度な判断を行い施設全体の制御を行うAIとの連携等が不可欠である。

【参考記事等】

- ・TMT Prediction 2019 デロイトトーマツ [18]

- ・工場自動化が製造業にもたらすメリットと発展への道筋 [19]

・クラウドロボティクス

クラウドロボティクスとは、従来のロボットの定義である 3 要素（「センサ」「知能・制御系」「駆動系」）のうち「知能・制御系」の処理をロボットとクラウドで分担し、ロボットの認知や判断をクラウド上で行うことである。

ロボットの高機能化に伴い、姿勢制御、音声や画像認識といった、膨大なデータを高い演算能力により処理する必要性が増えているが、筐体の制約などにより、それをロボット単体で実現することは容易ではない。一方、ネットワークの高速化やクラウドコンピューティングの進歩と相まってクラウドロボティクスに注目が集まっている。

また、クラウドロボティクスには、

- ・クラウド上からロボットの機能の拡張や追加が可能
- ・複数のロボット同士でデータやアプリケーションの共有が可能

といったメリットもある。

クラウドロボティクス用プラットフォームの開発やクラウドロボット間のインタフェース標準化の進展によって、より一層クラウドロボティクスが身近なものになることが期待される。

【参考記事等】

- ・なぜロボットにクラウドが必要なのか？ [20]
- ・クラウドロボティクス（同志社大学知的システムデザイン研究室第 169 回 月例発表会） [21]
- ・絵で見てわかる IoT/センサの仕組みと活用：翔泳社 [22]

・医療用ナノロボット

人体に取り込めるほどの極小サイズのロボットを医療分野で活用することが期待されている。例えば、ロボットが体内の病巣を見つけて、そこに薬液を直接運搬することも可能となるであろう。

それに向けた研究も進められており、最近では、東京大学が、金属ナノ粒子中の電子のさざ波により光の持つ運動量を制御し、その反作用としてナノ粒子に働く光の力を利用して微小マシンを動かすことに成功した。 [23]

本項で扱うロボットの範疇とは若干異なるが、従来のトップダウン的アプローチ（微細に加工されたパーツを組み立てて作る）に加え、近年では、ボトムアップ的アプローチ（分子などを組み上げて作る）による分子ロボティクスも注目を浴びている。

・バイオニックハンド

義手の中でも「筋電義手」は、筋肉が活動する時に発生する、表面筋電位を利用して、動作を制御し、物を掴んだりすることができる義手である。しかし、従来の「筋電義手」は動

作をさせることはできるが、感覚的なフィードバック（身体の動作や位置についての「運動感覚」と呼ばれる感覚）がなく、義手の位置を把握するためには、視覚に頼る必要があった。

今後は、義手から自身の位置情報や触覚のフィードバックが行われ、暗闇や目を閉じた状態でも、手足の位置を感知し、握んだ物の硬さや形状を把握できるような、次世代のバイオニックハンドが登場するであろう。

【参考記事等】

- ・暗闇のなかや目を閉じた状態でも位置が感知できる次世代のバイオニックハンドが開発中 [24]
- ・その新しいロボット義手は、「手を動かす感覚」まで再現する [25]

4.6 IoT

4.6.1 本章の概要

4.6.1.1 IoT とは

IoT は Internet of Things の略で、「モノ」のインターネットと呼ばれている。2016 年 4 月 20 日に成立した法律により改正された特定通信・放送開発事業実施円滑化法の附則では、「IoT の実現」を「インターネットに多様かつ多数の物が接続され、及びそれらの物から送信され、または、それらの物に送信される大量の情報の円滑な流通が国民生活及び経済活動の基盤となる社会の実現」として定義している。

2000 年代からユビキタスネットワーク社会（*1-1）を推進する様々なプロジェクトがスタートし、「いつでも・どこでも・何でも・誰でも」ネットワークにつながるための技術とサービスが世の中に浸透してきた。コンピュータネットワーク・インターネット・スマートフォンが高度に進化した結果、「いつでも・どこでも」スマートフォンがインターネットにつながるようになった。「ガラケー」と呼ばれていた携帯電話をインターネットにつなぐことにより新たな価値を生み出し、非常に便利なサービス提供しているスマートフォンは、身近な IoT 製品の事例となる。

「Society 5.0」（超スマート社会）となり、近年、IoT を取り巻く環境は目覚ましく進化・成長を続けている。クラウド技術の進化、無線通信技術の進化、多様なセンサ・アクチュエータの出現、端末・サービスの小型化・低価格化により、これまでインターネットに接続されていなかった様々な「モノ」がネットワークを介してクラウドサービスに接続できるようになった。自動車、家電機器、医療機器、情報通信機器などがインターネットにつながり、生活・社会・産業に関するあらゆる物から多くの情報（データ）を容易に取得できる環境やデータを有効に活用できる環境が整ってきて、あらゆる分野に IoT は適応されるようになってきている。

【IoT を活用することでビジネス革新】

革新の方向性は、従来システムの延長線上にある生産性の高効率・最適化の方向とビジネスモデルを変革し新たな価値の創出を狙うイノベーションを起こす方向の 2 パターンがある。IoT を進めていく上で、これら IoT システムの目標を定めることが重要となる。

● 生産性の向上

例えば、勘と経験に頼っていた物作り技術などの現実世界のノウハウを、センサを活用しノウハウをネット世界でデータ分析することで、より高度で効率的な手法を作り出し、プロセス自動化や効率化による生産性向上を目指す。

(*1-1) 平成 16 年版 情報通信白書 [26]

● 新たな価値の創出

IoT を活用した価値創出の方向性として、下記の 3 点を列挙する。

- ・ 情報を集約したビッグデータの利活用による新しい価値の提供
- ・ 業界をまたがった技術やサービスを組み合わせた価値創出
- ・ インターネットを通じて継続的なアップデートによる物の付加価値提供

IoT は対応可能な範囲が広いいため、様々な技術と組み合わせて 3 点に限らず、新たな価値を創出できる可能性がある。

4.6.1.2 IoT 技術

IoT を実現するための構成は、現実世界とネット世界をまたがり複数の技術を活用してデータを循環させるデータ駆動型のシステム構成となる。

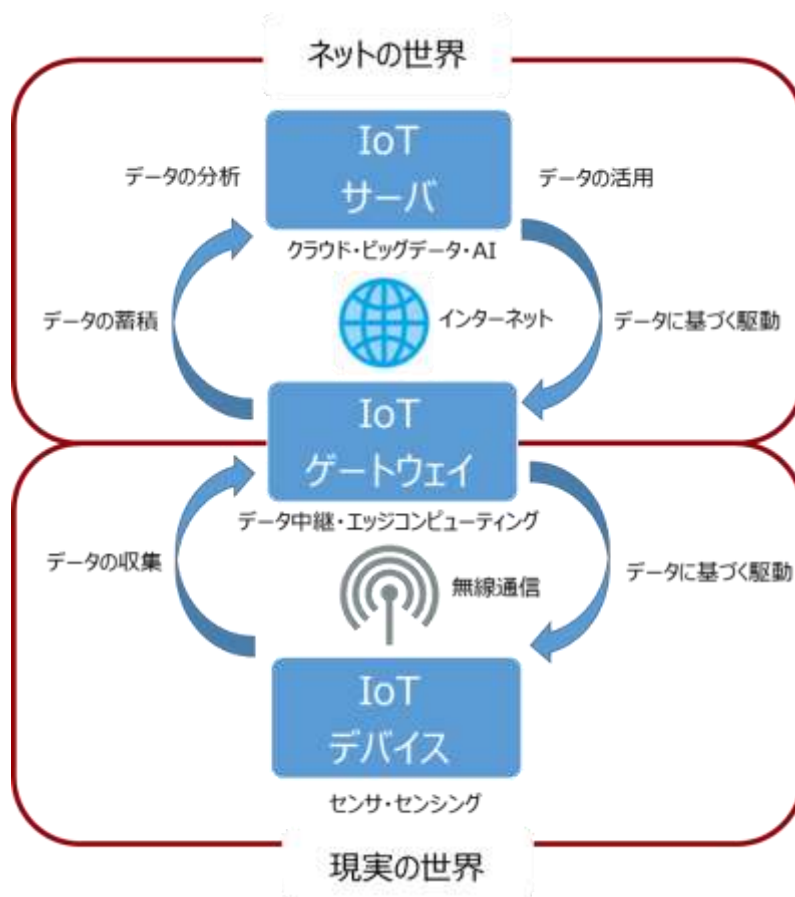


図 24 IoT の世界

IoT の主な技術は下記の 5 つがあり、この中から実現したい IoT システムに合わせて必要な技術を選択して構築していく。

- 1) センサ・センシング技術
- 2) 無線通信技術

- 3) データ中継・エッジコンピューティング
- 4) インターネット技術
- 5) クラウド・ビックデータ・AI

これら選択した技術を各レイヤの IoT 機器に組み込むことで、データの循環を動作させる。

- ・IoT デバイス（センサ・アクチュエータ）
- ・IoT ゲートウェイ
- ・IoT サーバー（クラウド）

※IoT ゲートウェイはシステムによっては存在しない場合がある。

データの循環には、下記の流れがあり、現実世界とネット世界をデータが往来する。

- 1) データの収集
- 2) データの蓄積
- 3) データの分析
- 4) データの活用
- 5) データに基づく駆動

4.6.1.3 CAMBRIC の中での IoT の定義

【IoT は現実世界とネット世界をつなぐゲートウェイの役割】

現実世界のデータを収集し、ネット世界へ転送し蓄積させ、ネット世界で様々なデータ処理を施し分析や知識化を行い、その結果をもとに現実世界へフィードバックすることでデータ駆動型のアクションを継続的に循環させる役割を持つ。

現実世界とネット世界をつなぐことで、人や物に影響を与え、現実世界の効率化や新たな価値を生み出す技術として定義する。

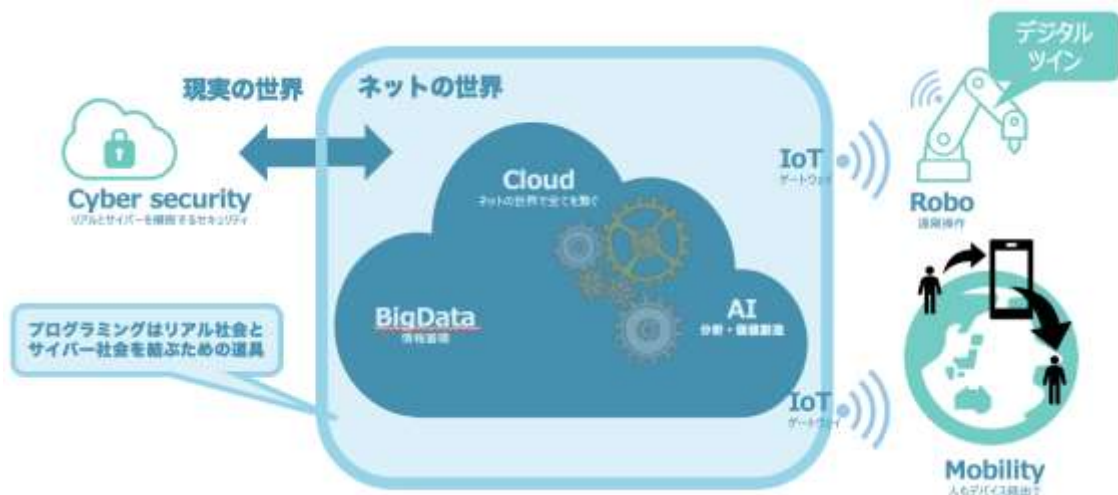


図 25 アフターデジタルの世界観（再掲）

4.6.1.4 IoT のスコープ

IoT では、あらゆる物がインターネットに接続可能となり、様々な分野で活用することができるためスコープは広範囲となる。本章では、IoT を活用する注目ビジネス・サービスを3章における定義に合わせてピックアップして深掘りしていき、そのビジネス・サービスを支える代表的な技術のみを対象に解説する。IoT のサービスは複数の技術が統合されて成り立つが各技術要素の詳細な解説は対象外とする。

4.6.2 本章における4段階の定義

IoT を活用する対象範囲として、個人・家・店舗・工場・地域・国など IoT システム規模により範囲は広がっていく。また、IoT システム規模に比例して IoT デバイス数も増加していき、利用する技術や実現される機能・効果・できることが変わっていく。本章では、IoT ビジネス・サービスや IoT 技術を下記の4段階に定義を分類して、ピックアップした具体的事例を紹介していく。なお、IoT ビジネス・サービスや IoT 技術は継続的にアップデートしているため、ピックアップした具体的事例は、見方によっては異なる段階に位置する、将来分類が変わる可能性がある。

【Basic】

数種類の IoT デバイスで成り立つシステムで構成され、一般的に普及しているサービス、技術で、次の仕様となっていることが多い。

センサの種類	・ 1 種類~数種類 ・ GPS、温度、湿度、電圧、振動、稼働状況、(対象物の) 残量など
制御機能	なし (センサのみ)、または、ON/OFF 制御

【DX introduction】

使用されるセンサの種類が【Basic】より増え、収集・蓄積するデータ量が増え、クラウド上でビッグデータとして扱われることが多い。AI による高度な分析がされることもある。

センサの種類	・ 数種類~10 種類程度 ・ (【Basic】で用いるセンサに加えて) カメラ (映像)、重量、加速度センサ、圧力、距離、人感、光電など
制御機能	複数種類の制御がされる。AI による分析、制御がされる場合もある。

【DX evolution】

IoT、ビッグデータ、クラウド、AI、ロボットなどの各分野の連携、融合が当たり前となり、複数のシステムが組み合わさり Systems of Systems [27]として提供される。

センサの種類	・ 様々な種類のセンサが組み合わされて使用される ・ 用いられるセンサの種類が増え、人やロボットからのセンサ情報也使
--------	---

	用される
制御機能	短時間の遅延で、複数種類の制御がされる。ロボットにより制御される場合もある。

【Next DX】

現実世界とネット世界から様々な情報が収集され、リアルタイムでデータが伝達され、制御されることとなり、現実世界とネット世界とが統合され、より高度なサービスが提供される。

センサの種類	・生活や仕事など至る所に無数のセンサが使用される ・知覚、触覚など人間の感覚に関わる情報を収集できるセンサが使用される
制御機能	リアルタイムで現実世界とネット世界を統合的に制御する

(*2-1) センシング技術の普及とこれからの社会 一般社団法人次世代センサ協議会 [28]

4.6.3 具体的な項目

【Basic】

世界の IoT デバイス数は 2020 年に 280 億台（予測値）であり、そのうち、スマートフォンや通信機器などの「通信」に分類されている機器が 114 億台、それ以外が 167 億台となっている（*3-1）。2021 年には「通信」に分類されている機器が微増であるのに対して、それ以外の機器が大きく伸び 193 億台となる見込みであり、「通信」機器以外の IoT デバイスを用いた応用例やサービスが大きく増えると思われる。また、同時に、世帯における保有割合が約 8 割まで普及(*3-2)しているスマートフォンと、「通信」機器以外の IoT デバイスとが連携して価値を提供するサービスも増えていくと思われる。IoT デバイスが、GPS 情報、ON/OFF 情報、温度、湿度、開閉情報などを取得、通信することにより様々な応用例、サービスが既に実現され市場に提供されている。

・トラッキング、モニタリング

「通信」機器以外の IoT デバイスを用いた応用例やサービスとしては、位置情報を用いて物がどこにあるかを示すトラッキングや、機器の稼働情報を示すモニタリングなどにおいて既に多くの事例がある。例えば、トラッキングについては、物流において配送物の位置情報を GPS で取得し顧客に提示するサービスや、交通において車両の位置情報や待ち時間の情報を提示するサービスなどがある。また、モニタリングについては、機器の稼働情報、温度情報などを監視することにより異常を検知し提示する異常監視サービスなどがある。

・スマートロック

スマートフォンと安価な専用装置とを組み合わせた事例としては、スマートロックがあ

る。ここにおいてスマートロックとは「通信・認証機能を持ち、外部から IT 制御できる鍵」のことを指す。既存の鍵付きドアに専用装置を取り付けてスマートフォンで鍵を操作する。外部（遠隔）から鍵を操作できるという点の他に次のメリットがある。

- ・実際に会わなくても鍵の受け渡しができる。
- ・一度渡した鍵を取り消せる/期間などが限定できる（時間貸しができる）

これらのメリットを活かしてシェアハウス、レンタルハウスに用いられるなど、物理鍵を用いた既存のシステムでは実現が難しい、IoT ならではの新たな応用例が実現されている。なお、スマートロックには、後付けの専用装置を用いずに最初から IoT 機能が組み込まれた鍵の場合もある。

・ LPWA

これらの IoT を支える無線技術としては、3G/LTE、Wi-Fi、Bluetooth などに加えて、IoT に適した無線通信技術として LPWA(Low Power Wide Area)がある(*3-3)。LPWA は低消費電力で長距離の通信ができる、無線通信技術の総称である。キャリア無線を利用する規格や、特定小電力無線を利用する規格など様々な無線規格が LPWA として登場している。IoT における通信では、デバイスや回線あたりの通信容量は小さいが大量のデバイスが接続できることや、センサ機器に組み込み長期間使えることが求められる。低コストかつ低消費電力を実現する複数の規格の中から実際に適用する際の条件に応じて選択することになる。

(*3-1) 令和 2 年版 情報通信白書または、(*3-1) IHS Technology

(*3-2) 令和元年版 情報通信白書

(*3-3) 平成 29 年版 情報通信白書 [26]

【DX introduction】

この段階では使用されるセンサの種類の数が増え、また、AI による映像解析技術の完成度が高まっており、カメラ（映像）により多様な情報を利用できるようになる。センサの単価、使用する数、通信料などを含めたシステム全体のコスト低減が課題であり、単なる省人化や効率化だけでなく、既存のシステムでは提供できない新たな付加価値をいかに提供するかで普及の展開速度が変わってくると思われる。

・ 無人店舗

入退店、（購入した）商品の認識、決済をスマートフォンの専用アプリケーションで実施するものや、カメラによる認識技術で実施するものなど、様々なタイプの無人店舗があり、実証実験の段階を過ぎて、実際に稼働している店舗もある。単に人を減らす省人化という観点では、現時点では導入・運用コストを吸収するのは難しいが、顧客に新しい買い物体験を提供する、顧客行動データを店造り・商品開発・在庫管理に活かす、といった新たな付加価値を生み出す展開も考えられる。また、新型コロナウイルスへの対応により、店舗の無人化

が進展する可能性がある。

・製造 IoT

工場の稼働状況を各種センサにより可視化し、様々な付加価値を提供するサービスが既に提案、提供されている。すなわち、温度、湿度、振動、圧力、重量、電圧、電力などの各種センサ、計測器により設備の稼働状況を監視し、人感、光電などのセンサやカメラにより人の動きを把握し、AI を活用して、故障検知や異常予兆の提示、省人化や生産性向上の提案、省エネルギーの実現などを実現する。AI 技術の発展により、熟練技能者の技能伝承支援を謳うサービスも提供され始めている。

・SCADA

大規模で複雑な製造やインフラに関わる管理システムを効率化し、一元管理する産業監視制御システムの技術が SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) である。近年、ネットワーク関連の技術が確立しアプリケーションのオープンソース化やパッケージ化が進んだことにより、以前より安価に SCADA が実現可能となっている。工場のスマート化における役割にも活用できる技術として注目されている。

・エッジコンピューティング、フォグコンピューティング

センサの種類や数が膨大となりクラウドコンピューティングでの集中処理では即時性が求められるシステムの要件が満たせないことが発生する。このような問題を解決する方法としてエッジコンピューティング、フォグコンピューティングの概念がある。クラウドより現実世界に近い IoT ゲートウェイや IoT デバイスの位置でデータを分散的に処理することで即時応答とクラウド負荷軽減が実現できる。

【DX evolution】

この段階では様々な種類のセンサが多数使用され、種類の異なるビッグデータがクラウドで扱われ、AI 技術の更なる発展により高度で複雑な分析がされて、より付加価値の高い情報が提供され、また、それらの情報に基づき、より複雑な制御、作業がロボットなどにより実現されることが期待される。すなわち、クラウド、AI、ビッグデータ、ロボット、IoT の連携、融合が当然の世界となり、複数のシステムが組み合わさり Systems of Systems として提供さる。

・デジタルツイン／スマートファクトリー

製造の各工程におけるデジタル化（モデル化）が進み実物を使った設計、製造を実施する前にシミュレーションによる設計、製造が可能な範囲が拡大する。これにより、実物を使った設計、製造の前に把握できる性能や機能の確度が高まり、後戻り工程の削減、工程期間の

短縮などが実現される。さらには、エンジニアリングチェーン（企画、研究、開発、設計、製造、品質）とサプライチェーン（部品供給、製造、生産、輸送）が連携しながら、市場データ（販売、保守、運用、サービス）を迅速に収集、分析して、市場ニーズに柔軟かつ速やかに追従できる工場が実現する。またこのような機能がオープンプラットフォームとして提供され、様々な利用者が簡単に利用できるようになってきている。

・ヘルスケア IoT

人が日常生活で常に身に着けるヘルスケア IoT デバイス（リストバンド型、コンタクトレンズ型、絆創膏型など）や人体に埋め込む形のヘルスケア IoT デバイス（体内埋め込み型、皮下埋め込み型など）が出現し、また、日常生活で使用する器具（椅子、机、寝具、便座など）がヘルスケア IoT デバイスとなることにより、人体に関する各種データを常に取り得できるようになる。これにより、体温、血圧、心拍、脈拍、呼吸、歩数、活動量、睡眠、心電位などの各種データが取得され、クラウドにおけるビッグデータ解析技術や AI 技術により、健康状態が常に見守られ、健康上のアドバイスを適切なタイミングで受けることができるようになる。

【Next DX】

6G により通信速度はさらに速くなり、かつ、通信の際の遅延が非常に小さくなり、その遅延を人が知覚するのが難しくなる。また、多数の IoT デバイスが身の回りにあふれ、IoT デバイスから日常的にかつ大量に情報を取得するようになる。これらにより、現実世界とネット世界の境目を人が判別するのが難しい世界、すなわち、現実世界とネット世界が融合した世界が現れると思われる。これは映画の SF で描かれていた世界観がより現実に体现できるようになり、今までの感覚では想像できない新しい体験が生み出させる世の中となる。

・ 6G

2030 年代の導入を想定した要求条件(*3-4)として、「1. 超高速・大容量通信」「2. 超カバレッジ拡張」「3. 超低消費電力・低コスト化」「4. 超低遅延」「5. 超高信頼通信」「6. 超多接続&センシング」が挙げられ、ユースケースとして現実の五感による体感品質と同等か、それを超える多感通信のような新体感サービスなど高度なサイバー・フィジカル融合を実現する。

・遠隔知覚（遠隔触覚）

ハプティクス技術の進展により、触覚、触感をデジタル化するセンサが出現する。これにより触感を記録、再生、伝送することが可能となる。XR の普及も重なり、現実世界から得られる感覚とネット世界から得られる情報との違いを認識するのが難しくなる場合がでてくる。さらに、5G の普及、6G の導入により、遠隔地間でも遅延が少ないデータの送受信が

可能になり、遠隔地間であっても現実世界な触感を伝達することが可能となる。視覚、聴覚だけでなく触覚もデジタル化されることにより、現実世界とネット世界の融合が進むと思われる。

・スポーツテック

様々なウェアラブルセンサが開発され、遅延の少ない通信により、スポーツにおいてより複雑なプレーを高度に分析できるようになる。選手のスキル向上だけでなく、コンディション管理や怪我の予防などにつながる。また、超小型カメラやドローンなどの活用により、今まで実現できなかった視野（超近接）や視角（空中の様々な視点）からの映像を、リアルタイム VR により世界中の人が楽しめる。さらに、現実世界における動作と仮想世界の動きを組み合わせた新たなスポーツ競技が生まれ発展する可能性がある。

(*3-4) NTT DOCOMO ホワイトペーパー 5G の高度化と 6G [29]

4.7 サイバーセキュリティ

4.7.1 本章の概要

インターネットを介して膨大な数の装置が接続され、その上で多様なソフトウェアが動作して様々なサービスが実現されている。このようなサイバー空間上のサービスに人々が関与し、依存する傾向は強まりこそすれ、弱まることは想像できない。しかも、本稿で取り上げているクラウドコンピューティング、AI、モビリティ、ビッグデータ、ロボティクス、IoTなどが一層この傾向を高めつつある。したがって、サイバー空間における情報の機密性、一貫性、使用性を保持することの重要性も一段と高まっている。

有用で便利な技術が利用可能になるほどに、サイバーセキュリティを強化する必要性が高まり、サイバーセキュリティ対策を充実できなければ、せっかくの新技术のメリットを広く享受することができない。サイバー空間を往来する情報の価値が高まれば、悪用や漏えいの影響が増大する。一方で、信頼できる情報を容易に利用できなければ、産業活動も社会活動も立ち行かない。デジタル技術を活用しようとするれば、必然的にサイバーセキュリティ対策にも注力せざるをえない。

セキュリティ上の問題が発生する要因は、外部からの攻撃もあるが、内部犯行もありえる。悪意のない無知や不注意が重大な問題を引き起こすこともある。技術的な対応策のみならず、管理面での対策や、関係者への教育も組み合わせなければ、有効な対策になりえない。情報技術が進歩するほどに新たなリスクが発生し、新たな攻撃パターンも編み出されるので、技術的な対策の高度化と併せて、利用者の情報リテラシーも継続的な向上が求められる。

4.7.2 本章における4段階の定義

Basic は、DX や CAMBRIC に関与する以前に、既存のインターネットサービスを日常的に利用する上で、理解し対処しておかなければならない事項を取り上げる。これができるのであれば、問題発生時に悪意がなくとも不注意、不作為を非難される事項である。

DX introduction は、情報技術に依存した事業運営を進める場合に求められる事項である。企業活動の重要な部分をインターネット経由で実装し、顧客に対してサービスを提供するのであれば、対応せざるをえない事項である。

DX evolution は、既に至るところで発生している意図的な攻撃への対応策である。御社がDXに踏み出し、重要な取引をインターネット上で実行していることが知れ渡れば、価値ある情報が狙われるのは時間の問題である。現状でも重大な事件が多数発生しており、それらに対する系統的な対策も実行に移されている。DXを進展させている組織において、取り組まれている対策を取り上げる。

Next DX は、今後新たに発生する問題や攻撃手段に対して、速やかに対応し重大な問題を発生させないための対策を取り上げる。今後も巧妙な攻撃手段が登場することは必然であり、どの様な攻撃を受けるか現状で正確に予測することはできないが、対応力を高めておく必要がある。

4.7.3 具体的な項目

【Basic】

サイバーセキュリティ対策の第一歩は、政府系機関が提示しているガイドライン等を確認することから始まる。広く一般に公表されており、これらに基づく書籍やセミナーも存在するし、専門家の支援を受けることも容易である。逆にこれら広く周知された事項を満足せずに障害や情報漏えいを起こすと、対応不足を糾弾される恐れもある。これら基本的な事項は何年も前に整理されているが、統計情報を見ると必ずしも満足されていない。

サイバーセキュリティ対策は、汎用的に完全な手段が存在するわけではない。自組織の情報資産や業務内容に照らしてどのような脅威が存在するか分析するところから始まる。

・IPA 情報セキュリティ診断 [30]

1) 入門編：5分でできる！自社診断

「基本的対策」、「従業員としての対策」、「組織としての対策」として合計 25 のチェック項目があり、対策の解説や回答者の充足状況も提示されている。

2) 基礎編：情報セキュリティ対策ベンチマーク

組織の情報セキュリティへの取り組みを 27 項目でチェック。対策のポイントなどの解説と、充足状況など回答者の統計情報も提供されている。

・経済産業省/IPA サイバーセキュリティ経営ガイドライン Ver 2.0 [31]

3 原則と重要 10 項目を提示している。特にサイバーセキュリティリスクの管理体制を確立し、リスクを把握した上で、リスク対応計画を策定し、対策のための仕組みを整備することを求めている。

この他にも「中小企業の情報セキュリティ対策ガイドライン」、「組織における内部不正防止ガイドライン」などの資料が政府機関から多数提供されている。

・セキュリティリスクアセスメント

網羅的かつ完全なサイバーセキュリティ対策を一律には規定できない。自社が保有する情報資産を特定し、何を守るべきか、どのようなリスクが存在するか実態を把握することが大前提である。その上で、リスク発現の影響度や確率を勘案して効果的な対策をとる必要がある。保有する情報資産がどのように利用され、誰がどのようにアクセスするのか、情報と業務の流れを確認し、どの情報に価値があり、またどこに脆弱性や脅威が存在するのか、自社の特性に合わせた対策を強化改善していくことが重要である。

【DX introduction】

企業活動を本格的にサイバー空間で展開しようとするれば、様々な脅威に備える必要が出

てくる。何か特定の対策を打てば済むものではなく、以前は十分であった対策も時間が経過すると不十分な対策となっていく。絶対的な対策を求めるのではなく、闘い続ける覚悟が必要になる。自社システムで利用しているソフトウェアや機器類のバージョンを把握し、それらに関する脆弱性情報を見逃さないようにする必要がある。また、価値ある情報を守る上で、適切な多要素認証を実装する必要がある。

脆弱性情報の収集は、犯罪情報を知って犯罪に巻き込まれないようにすることに相当する。認証技術は戸締まりであり、容易に解錠できない新式の鍵を複数かけることに相当する。たとえ侵入されたとしても、防犯システムで早期に通報できたり、貴重品が金庫に入っていたりすれば、大きな被害は免れられる。

これらの対策によって、日常生活が支障を来すようでは困る。防犯システムが頻繁に誤動作したり、家中の引き出しにすべて鍵をかけたりしては、快適な暮らしとは言えなくなってしまう。想定されるリスクと対策のバランスが重要である。

近隣の家と比べて警戒が厳重な家にわざわざ侵入する泥棒はいない。近隣に比べて対策が甘ければ、泥棒を誘い込むことになる。また、価値の高いものがあれば、より厳重に警戒する必要がある。

通常、犯罪被害者は警察に通報し、犯罪者の捜査と検挙を公権力に期待できる。しかし、サイバーセキュリティ犯罪の場合は、捜査権を持たない被害者自身が調査し被害状況を速やかに報告し、犯罪者を特定しなければ、糾弾され処断される場合もある。

・脆弱性情報の収集と対策

OS やミドルウェアを始め、広く利用されているソフトウェアや装置には、必ず脆弱性が存在すると想定しておかなければならない。脆弱性情報は日々更新されるので、このような情報を速やかに入手し、対処する必要がある。

代表的な脆弱性情報源としては、**Japan Vulnerability Notes** [32]がある。詳しくは、「脆弱性対策の効果的な進め方(実践編) 第 2 版 ～脆弱性情報の早期把握、収集、活用の手順～」 [33]を参照。

・認証技術(二要素認証、生体認証、SSO)

従来、基本的な認証手段としてパスワード認証が広く使われてきた。しかし、個人の記憶に頼る仕組みには限界があり、漏えいや推定、フィッシングのような詐欺など、様々な形でなりすましが発生した。物理的なカードとの併用、トークンを利用したワンタイムパスワード、携帯電話への SMS 認証など二要素認証も広く利用されている。指紋、網膜、虹彩、血管などを利用した生体認証も利用されている。

一方、複数のシステムを連動させる上では、一度の認証で連動する複数のシステムを利用可能にする **Single Sign On** の技術を適切に実装する必要がある。

・多層防御

認証技術で入り口の防御を固めても、様々な形で突破される可能性がある。突破されたとしても、その後の侵入者の行動を制限できれば、深刻な被害の発生を抑止、または軽減できる。侵入者の活動を遅延させるだけでも、情報の破壊や持ち出しが発生する前に発見できる可能性が高まる。

侵入者はシステム構成や重要情報の所在を探索したり、より高度なアクセス権を獲得しようとしたりするのが普通である。重要情報を暗号化しておいたり、各ユーザーのアクセス権を適切に制限したり、適切なログ監視を行ったりすることで、侵入者の内部活動を制約し、破壊活動の前に発見できる可能性が高まる。

加えて、重要情報の持ち出しを阻止する対策も有効である。このように入り口対策だけでなく、内部対策、出口対策を組み合わせた多層防御の仕組みを整備しておくことにより、深刻な被害を回避できる。

【DX evolution】

通りがかりの単独犯であれば、一般的な対策で相当程度回避できる。しかし、御社が DX に成功し、大きな収益を上げ、サイバー空間に価値ある情報を保持していることが明らかになれば、プロ集団が計画的に狙いを定めて用意周到な攻撃を仕掛けてくる可能性がある。

・サプライチェーン・セキュリティ

CAMBRIC のような新技術を取り上げるまでもなく、昨今の情報技術は他社の製品やサービスを利用せずには実現しえない。ソフトウェア、ハードウェア、サービスが複雑に絡み合って実現されており、意図的か意図的でないかによらず、脆弱性がないことを確認することは極めて難しい。汎用的なクラウドサービスの障害によって多数の企業の業務が停止に追い込まれたり、広く使われている機器に脆弱性が発見されて攻撃が多発したり、機密性の高い専門業務の委託先社員の不正によって金銭的被害が発生したりすることもある。

ハードウェアは多数の部品で構成されており、すべての部品の安全を保証することは困難である。ソフトウェア調達においても、多段階にわたる委託契約の先で実施される作業において、不正が行われないか、脆弱性が作り込まれていないか確認することは困難を極める。契約時に適切な対応を明示的に求めることは当然であり、経済的な損失はある程度担保できるが、事件・事故の発生が完全になくなるわけではない。様々な規格や認証制度も整備されつつあるが、完全に第三者に責任を転嫁することはできない。自社が提供する製品やサービスが自社の顧客に与える影響に鑑みて、適切な対策を検討し、強化していく必要がある。参照：「DX（デジタル・トランスフォーメーション）時代のサプライチェーン・セキュリティ ～サプライチェーンにおけるトラスト（信頼）の構築に向けて～」，情報処理 Vol.62, No. 3, 2021 年 3 月 [34]

・デジタルフォレンジック

事件、事故が発生した際に、事実関係を調査できるように記録を保持しておく必要がある。被害状況や原因の特定ができなければ、対策が打てず被害が拡大する。関係者に対する説明責任を果たすことも重要である。証拠が示せなければ、必要以上に責任を負わされる可能性もある。

外部の製品やサービスを利用する際に、どのような記録を入手できるのか確認し、その上で分析能力を確保する必要がある。いざという時にはその迅速さも事態の収拾に大きく影響する。あらかじめ分析に必要な情報が収集できるような仕組みを構築し、設定し、監視しておかなければならない。

・ゼロトラストネットワーク

従来のネットワーク環境では、ネットワークを社内と社外に分け、入り口で認証して社内に入れば自由度の高い操作を可能にするのが一般的だった。社外から VPN を経由して接続された機器も社内にあると見なしていた。国境管理を厳格にすれば、国内は安全で自由という想定だった。小さな島国であれば、この想定も成り立つが、利用者や装置が多くなればこの想定が成り立たなくなる。

外部のクラウドサービスを利用し、多数の端末が接続され、BYOD(Bring Your Own Device)が広まってくると、社内と社外の境界が曖昧になり、管理しきれなくなる。管理下にあるシステムや装置にマルウェアが仕込まれたり、乗っ取られたりすることを想定しなければならない。内部犯行にも備える必要がある。したがって、社内と社外を区別して社内は安全とは想定せず、要所で認証し直したり、立ち入り制限したり、また巡回監視を行うなど、性悪説に立ったゼロトラストネットワークの備えが必要になる。

一旦社内に入ってもシステムやデータによってアクセス権を必要な範囲に限定し、操作の監視や記録を強化する。端末についても適切な管理を徹底する。使用性を下げずに機密性や一貫性を維持する仕組みを整備する必要がある。

【Next DX】

現状では正確には予測できないが、今後新たに発生する問題や攻撃手段に対して、速やかに対応し重大な問題を発生させないための対策も必要である。特に社会的に重要な施設、設備や、価値の高い情報は、プロ集団から計画的に攻撃される可能性がある。

DX の時代には迅速な対応が求められ、当初は簡易な方法でサービスを実現することがある。しかし、そのサービスが認知され社会的重要度を増すほどに、巧妙な攻撃に晒される可能性を覚悟しなければならない。深刻な被害を発生させる前に、厳格な運用体制を整備したり、システム自体を作り直したりする必要が発生する。社会的な責任に応じた対策が必要であり、関係機関や専門家との関係構築、人材の確保育成、装備の充実、万一の事態に備えた訓練などが必要になる。

ビッグデータの的なアプローチで設備装置を監視したり、AI を利用して怪しい操作パターンを検出したりする方法もある。IoT のように多数のデバイスを、それも社外に設置すれば、そのデバイスが攻撃対象になったり、踏み台にされたりする可能性が高まる。ロボットや工作機械のように物理的な動作が可能になれば、それらが人間に危害を及ぼしたり、破壊活動を引き起こしたりすることも想定しなければならない。

攻撃手法が進化するので、分析手法も更新していく必要がある。攻撃側に対抗して、自らの対応能力を継続的に高めていかなければならない。高い能力を持った専門家を確保することも重要であるが、同時に経営者も一般社員も情報セキュリティに関する知識と意識を高め、取引先も含めた体制を構築して、闘い続ける覚悟が必要である。

・ 予兆検知/UEBA/SIEM

明らかな攻撃を受ける前に予兆が見て取れることがある。攻撃や情報流出の前兆や不自然な操作のパターンがある。そのようなパターンを検出するためにログを監視、記録する Security Information and Event Management(SIEM)と呼ばれる製品もある。そのようなデータから怪しいパターンを抽出する User and Entity Behavior Analytics(UEBA)というアプローチがある。

・ サイバーテロ対策

単なる愉快犯やばらまき型の攻撃ではなく、高い技量を持った専門集団が特定の企業や設備を標的として、計画的に攻撃を仕掛けてくる場合がある。防御側としても、関係機関や専門家と連携して対策を積み重ねていく必要がある。高度なプロ集団に対抗する絶対的な手段は存在しないが、既知の脆弱性への対策を徹底し、組織構成員の高いリテラシと規範意識を維持して、基本行動を遵守することがすべての基盤になる。

CAMBIRC の他の 6 技術と異なり、サイバーセキュリティの未来については楽観視できない。デジタルトランスフォーメーションが進展し、サイバー空間でやりとりされる情報の価値が高まり続ける限り、サイバーセキュリティ対策の重要性は増大こそすれ減少することない。各国政府がサイバー犯罪対策の専門機関や軍事的な体制までも整備する中、民間企業や地方公共団体なども相応の対策が必要になる。新たな対策、手段が登場する一方で、攻撃も高度化、巧妙化する。十分な専門知識に基づく組織的な取り組みが必要であり、組織のトップから末端まで各層が適切な知識と当事者意識を持つことが前提である。サイバーセキュリティ対策の優劣がデジタルトランスフォーメーションの成否を分けると言っても過言ではない。

中世から近世にかけて、都市化と大航海で伝染病の被害が拡大した。産業革命の進展とともに劣悪な労働条件で酷使される労働者が増大し結核の流行など、公衆衛生上の問題も拡大した。さらに近代技術が戦争の惨状を拡大し、公害問題や交通事故など、技術の発展

と伴にもたらされた災いと人類は戦い続けてきた。近年の研究によると、人類は農耕によって栄養失調と過重労働、余暇の喪失、伝染病の蔓延など、悲惨な境遇に陥った。デジタル技術の進展に伴ってサイバーセキュリティに悩まされるのも、歴史的には典型的なパターンなのかも知れない。

人類は、これまでも上記のような技術的発展の弊害と戦い続け、被害を抑える手段を獲得してきた。いずれの場合も完璧に克服したというよりは、種々の対策を組み合わせで一定の社会生活を維持できるレベルで折り合いをつけたというのが現実であろう。多くの感染症を解明し治療法や予防法を獲得してきたにも関わらず、風邪の親戚のような新たなウィルスと全世界が総力戦を展開することになり、しかも同様の事態が今後も繰り返される可能性について警戒を怠れないことを思い知らされた。

デジタル技術を駆使すれば多くの人が利便性と豊かさを享受できるはずであり、新たな価値を創出できるチャンスの海が我々の前面に広がっている。今、デジタルトランスフォーメーションと呼ばれている変革期のその先でも、今は知らない新たな技術的手段を駆使して新たな価値を生み出していることだろう。その間も引き続き我々はサイバーセキュリティ対策に悩まされている可能性が高い。ただし、その悩みの種は今の問題とは異なるはずだ。問題も進化を続け、進化する問題に対処する中で我々の能力は向上し、使える武器の質も量も向上していることだろう。

2020 年日本全国の交通事故死者数は 2,839 人だった。1970 年の 16,765 人から 1/6 近くに減少した。この間に自動車保有台数は、1,653 万台から 8,185 万台へと約 5 倍に増えている。50 年間にわたる多くの人々の多面的な努力の結果と言えるが、さらに自動運転の実現によって大幅な死者数減少を期待したい。新しい技術の普及と共にサイバーセキュリティのように新たな問題も広がっていくが、冷静かつ着実に対処を続けることで被害を抑制し技術の効用を高め、技術自体に磨きをかけて社会的な価値の増大に貢献する道を進んでいくべきだろう。

5. まとめ

本稿では、産業や社会に近年大きな影響を引き起こしており、今後もその影響を拡大すると見込まれる 7 つの技術 Cloud Computing, AI, Mobility, Big Data, Robotics, IoT, Cyber Security の現状を俯瞰し、将来の可能性を検討した。情報サービス産業に従事する者は程度の差こそあれ、これらの技術を理解し、利用し、場合によってはさらに発展させる活動に参画して、個人としての能力を向上させ、所属組織の競争力を高め、顧客に提供する価値を高め、社会課題の解決に貢献する責務を負っている。

多くの領域で今まで不可能であったことが可能になり、それらの組み合わせによって、思いもしなかったことが実現する可能性の窓が開かれている。多様な技術が並行して発展し、相互に依存しつつ相乗効果を発揮しながら応用分野を拡大している。このような状況で個人が全容を把握することには困難が伴い、一つの分野を掘り下げ原理的に理解することも容易ではない。本稿の周期表とその解説が、CAMBRIC の全体像理解と応用に役立つことを期待している。

これらの技術が発展し、実用に供されている背景には、抽象化(abstraction)と情報隠蔽(information hiding)というソフトウェア工学の基本原則が作用している。この原則はソフトウェア工学に特有というよりも、工学一般を支える基本原則と言っても過言ではないだろう。技術の詳細を知らなくとも、外部インタフェースさえ理解すれば使いこなせる、逆に内部の詳細には立ち入らない方がよい、という複雑さに対処するためのものの見方、考え方である。クラウドサービスやオープンソースで提供される AI やデータ解析の機能は、内部の実装を知らなくても利用可能である。そう考えないと複雑な技術は使いこなせない。我々は、コンピュータで使われている半導体の電気特性など気にしていないし、身の回りに多数存在するマイクロチップを意識せずに生活している。階層的なアーキテクチャ、段階的詳細化、コンポーネント化など、複雑な大規模ソフトウェアを構築し、保守するノウハウを身に付けているソフトウェア技術者は、様々な技術を組み合わせて利用し今後の変化を先導するための素養を身に付けている。

今後、CAMBRIC の 7 領域は相互依存を深めながら発展を続けていくだろう。自動運転やスマートシティなど、7 領域すべての連携が求められる取り組みも広がりつつある。8 番目、9 番目の技術が加わってくるかも知れない。デジタル技術の応用が拡大することは不可避であり、それによって産業構造や生活様式も変化していくことになる。一時的なリードはイノベーションを阻害することがある。成功に満足せずに将来を見据えて持続的に挑戦していく必要がある。

イノベーションには、新たな出会いや多様性が重要である。技術の新たな組み合わせを試し、これまでにない業種間で協業を進めることで、大きな価値を創出できる可能性がある。コロナ禍は大きな被害をもたらしたが、我々に大胆な発想の転換を強制した。三密回避のための非接触技術、人流分析のビックデータ解析と感染拡大シミュレーション、リモートワークとテレビ会議、医療のデジタル化、安全保障としての感染症対策、バイオテ

ノロジー投資の拡大、そして時間勝負の製造調達及び情報システム構築など、多くの技術が実証され、ニーズが顕在化し、今後の発展が期待されることになった。コロナ禍が去ったとしても、もはや後戻りできない領域が多数存在する。これらの変化を前向きに牽引する力がデジタル技術に期待されている。

我々は将来を見据えて果敢に挑戦せざるを得ない状況に直面している。30年間にわたって低成長が続き他国に後れを取っているとは認識しても、破滅的だとは思わなかった。しかし、少子高齢化が進み、非正規労働者が増大し、子供の貧困が問題になり、大規模災害が追い打ちをかけて、いよいよ国力低下を実感せざるをえない状況に陥りつつある。脱炭素化社会に向けた抜本的な産業構造と生活習慣の転換を求められている。地球規模の大波に洗われて、日本国内の問題を耐え忍び続けるわけにもいかなかった。エネルギー源の転換にはデジタル技術の活用が欠かせない。既存ビジネスの縮小を覚悟して、危機的状況で大転換の契機と前向きにとらえざるを得ない。

感染症対策も脱炭素化も容易ならざる大問題であるが、その取り組みに求められるデジタル技術の役割は極めて大きい。デジタル技術を用いて既存事業を抜本的に再構築し、新たな価値を提供する事業を創出するというデジタルトランスフォーメーションは、時期の前後があっても確実に進展していく。その実現過程に情報サービス産業が深くコミットし、貢献することは当然であり、そのために技術者個人も企業も研鑽を重ね、最新技術の動向に注意を払って積極的に応用していく姿勢が重要である。話題となった製品を利用するだけでなく、技術領域の将来の発展性にも目を向けて、それらの組み合わせや新たな応用にも挑戦すべきである。さらにデジタルトランスフォーメーションのその先においても、社会全体の大きな問題に対処するために持てる能力を発揮して、解決策の実現を技術面から支えることで自らの活動領域を拡大して成長していく必要がある。

6. 参考資料

執筆にあたり参考にした文献や Web サイトを掲載する。

- [1] B. Gourley, “The Seven Megatrends of Cambric,”
<https://c4i.gmu.edu/wp-content/uploads/AFCEA-GMU-2016-Gourley.pdf>.
- [2] 内閣府, “Society5.0 より引用し筆者作成,”
https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/.
- [3] 文部科学省, “GIGA スクール実現推進本部について 「子供たち一人ひとりに個別最適化され、創造性を育む教育 ICT 環境の実現に向けて」,”
https://www.mext.go.jp/a_menu/other/1413144_00001.htm.
- [4] 内閣府, “平成 30 年度 年次経済財政報告 第 2 章第 2 節 3「社会人の学び直し（リカレント教育）とキャリアアップ」,”
<https://www5.cao.go.jp/j-j/wp/wp-je18/index.html>.
- [5] 首相官邸, “「人づくり革命 基本構想」第 5 章「リカレント教育」平成 30 年 6 月、人生 100 年時代構想会議,”
<https://www.kantei.go.jp/jp/headline/ichiokusoukatsuyaku/jinsei100.html>.
- [6] 内閣府, “SIP サイバー/アーキテクチャ構築及び実証研究の成果公表,”
<https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/20200318siparchitecture.html>.
- [7] 内閣府, “統合イノベーション戦略,”
<https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/index.html>.
- [8] 内閣府, “国家戦略特区 地方創生>国家戦略特区>スーパーシティ,”
<https://www.chisou.go.jp/tiiki/kokusentoc/supercity/openlabo/supercitycontents.html>.
- [9] Synergy Research Group, “Quarterly Cloud Spending Blows Past \$30B,”
<https://www.srgresearch.com/articles/quarterly-cloud-spending-blows-past-30b-incremental-growth-continues-rise>.
- [10] 総務省, “AI 利活用ガイドライン,”
https://www.soumu.go.jp/main_content/000656829.pdf.
- [11] 総務省, “ICT スキル総合習得プログラム,”
https://www.soumu.go.jp/ict_skill/.
- [12] 経済産業省, “データ利活用のポイント集,”
<https://www.meti.go.jp/policy/economy/chizai/chiteki/pdf/datapoint.pdf>.
- [13] xplenty, “ETL vs ELT 5 つの重要な違い,”
<https://www.xplenty.com/jp/blog/etl-vs-elt-ja/>.

- [14] 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, “NEDO ロボット白書 2014,”
https://www.nedo.go.jp/library/robot_hakusyo.html.
- [15] ロボット政策研究会, “ロボット政策研究会報告書,”
<https://www.jara.jp/various/report/img/robot-houkokusho-set.pdf>.
- [16] 首相官邸日本経済再生本部, “ロボット新戦略,”
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/kettei.html>.
- [17] 総務省, “1-4: 現実世界へのフィードバックとロボット,”
https://www.soumu.go.jp/ict_skill/pdf/ict_ev_el_1_4.pdf.
- [18] 本田技研工業株式会社, “Honda SENSING Elite 搭載 新型「LEGEND」を発売,”
<https://www.honda.co.jp/news/2021/4210304-legend.html>.
- [19] デロイト トーマツ, “日本の視点: ロボティクスオートメーションの進化,”
<https://www2.deloitte.com/jp/ja/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/et/tmt-predictions-2019-robotics.html>.
- [20] 富士通株式会社, “工場自動化が製造業にもたらすメリットと発展への道筋,”
<https://www.fujitsu.com/jp/reimagine/manufacturing/article/interview01/index.html>.
- [21] アイティメディア株式会社, “なぜロボットにクラウドが必要なのか?,”
<https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/2005/27/news006.html>.
- [22] 同志社大学知的システムデザイン研究室第 169 回 月例発表会, “クラウドロボティクス,”
<http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/monthly/monthly2016/mlm169/tyamamoto.pdf>.
- [23] 株式会社 NTT データ, 絵で見てわかる IoT/センサの仕組みと活用, 翔泳社, 2015.
- [24] 東京大学, “【記者発表】 光の波長より小さな世界で、走り、回る、新発想の光駆動ナノマシン,”
<https://www.iis.u-tokyo.ac.jp/ja/news/3397/>.
- [25] AXIS, “暗闇のなかや目を閉じた状態でも位置が感知できる次世代のバイオニックハンドが開発中,”
<https://www.axismag.jp/posts/2019/04/123398.html>.
- [26] WIRED, “その新しいロボット義手は、「手を動かす感覚」まで再現する,”
<https://wired.jp/2018/05/28/restore-feeling-to-lost-limbskinda/>.
- [27] 総務省, “情報通信白書,”
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/>.
- [28] INCOSE, “Systems of Systems Primer,”
<https://www.incose.org/products-and-publications/sos-primer>.

- [29] 一般社団法人次世代センサ協議会, “センシング技術の普及とこれからの社会,”
<http://www.jisedaisensor.org/PDF/J30sensor.pdf>.
- [30] NTT DOCOMO, “5G の高度化と 6G,”
https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/DOCOMO_6G_White_PaperJP_20200820.pdf.
- [31] 情報処理推進機構, “情報セキュリティ診断,”
<https://security-shien.ipa.go.jp/diagnosis/>.
- [32] 経済産業省, “サイバーセキュリティ経営ガイドライン Ver 2.0,”
<https://www.meti.go.jp/policy/netsecurity/downloadfiles/guide2.0.pdf>.
- [33] JPCERT, “Japan Vulnerability Notes,”
<https://jvn.jp/>.
- [34] 情報処理推進機構, “脆弱性対策の効果的な進め方（実践編）第 2 版 ～脆弱性情報の早期把握、収集、活用のスゝメ～,”
<https://www.ipa.go.jp/files/000071660.pdf>.
- [35] 石黒正揮.手塚悟.佐々木貴之, “DX（デジタル・トランスフォーメーション）時代のサプライチェーン・セキュリティ ～サプライチェーンにおけるトラスト（信頼）の構築に向けて～,” 情報処理,62(3),124-128 (2021-02-15), 2021.

【利用上の注意】

- 本報告書及び(一社)情報サービス産業協会(以下当協会)ウェブサイトから取得したファイル(ファイルに収録された画像及びデータを含む。以下ファイル等)の著作権は、当協会が保有している。利用者は、自らの利用のために本報告書等を利用することができるが、事前の許可なく転載、複製、一部改変、頒布、譲渡、転送を行ってはならない。
- 本文に掲載されている会社名・商品またはサービスなどの名称は、各社の商標または登録商標である場合がある。
- 本文ではTM、(R)マーク等は明記していない。
- 本文に掲載する情報については、原則として執筆時に確認した情報となる。最新の情報を保証するものではない。
- 当協会は、必要に応じて本報告書及びファイル等の内容を予告なく変更することがある。

－ 禁 無 断 転 載 －

CAMBRIC レポート ～DX のその先へ～

2021 年 5 月発行

発行所:一般社団法人 情報サービス産業協会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 2-3-4 S-GATE 大手町北 6F

TEL (03) 5289-7651 FAX (03)5289-7653

All Rights Reserved, Copyright© 2021, JISA