

## I-2. デジタルイノベーションを牽引するテクノロジー

(特別寄稿)

## デジタルテクノロジーの最新動向

## ー注目される IoT、人工知能、ロボティクス、セキュリティ関連技術

## 【要約】

- ◆ センサやネットワーク性能向上、利用コストの低下、コンピューティング性能の大幅な向上を背景にモノ、ヒト、サービスを巻き込む IoT が進展している。人工知能(AI)の進展は、デジタル化に伴う膨大なデータからの付加価値を創出し、ロボティクスの進展は、デジタル化のリアルな社会への実装を加速させ、イノベーションの対象領域を拡大させている。また、昨今のデジタルテクノロジーの特徴として、あらゆる領域でのインテリジェント化と、サイバーとヒトやモノが実在するフィジカルとの融合深化が進展している。
- ◆ IoT 活用のための ICT 基盤 (IoT 基盤) の技術開発が進展している。IoT の活用領域の広がりを受けて、IoT デバイスの増加に伴うネットワーク負荷の低減化やリアルタイム性を確保するためエッジコンピューティングを導入した IoT 基盤のアーキテクチャが主流となりつつある。
- ◆ サイバーとフィジカルとの接点となるスマートフォンや自動車など、様々なモノにカメラやマイクなどのセンサが実装され、対象や状況を同定・分類する画像認識技術や音声認識技術が実用化されている。ディープラーニングの登場により、認識精度が大きく向上し、適用範囲の広がりをみせている。また、サイバーとヒトのインタフェースとして VR/AR を実現する端末が廉価で市場に登場するなど、製品開発の苛烈な競争が始まっている。また、現実環境と仮想世界をミックスさせる MR の実用化の技術開発も活発化している。
- ◆ IoT の実装にはモノ、ヒト、サービスをつなぐ無線通信技術の進展が不可欠である。次世代通信技術として、高速化・大容量化を目指す 5G 通信の実用化が近づいている。また、IoT における通信利用のデバイスの数的な拡大を見据え、低容量ながら低価格・省電力による通信を実現する LPWA 技術が進展しつつある。
- ◆ インテリジェント化の中核技術である AI 分野では、画像処理等のパターン認識において実用化が進展するとともに、世界の最先端の研究は、サイバーとフィジカルを AI を媒介にして融合することを目指すアルゴリズム開発に向かっている。また、脳を模擬した計算デバイスや、さらには量子コンピューティングも近い将来の実用化が見込まれる。
- ◆ 人の能力(運動、五感、思考)の拡張やロボット同士の協調動作といった次世代のロボット/ロボティクスの技術開発が進展しており、新しいサービスや価値の創出の可能性が広がっている。また、自動運転車・ドローンは、実現に向けた認知・判断・制御に関わる技術が活発化している。加えて、安全に利用するための技術にも注目が集まっている。
- ◆ セキュリティ技術の重要性が認識されている分野に IoT とブロックチェーンがある。IoT では、モノとモノ、モノとサービスがインターネットを介してつながり、得られたデータを収集、分析してモノやサービスを制御するため、モノから得られたデータが改ざんされていないかが重要となる。また、ブロックチェーンでは、仮想通貨の二重利用防止や取引情報などの改ざん検知等を満たすためにセキュリティ技術の重要性が認識されている。

## 1. デジタルイノベーション進展の鍵を握るテクノロジー

デジタルテクノロジーの進展がイノベーションの対象領域を拡大

インターネットやスマートフォンの普及、センサやネットワーク性能の向上、利用コストの低下、クラウドコンピューティングの進展によるコンピューティング性能の大幅な向上等を背景にモノ、ヒト、サービスを巻き込む IoT (Internet of Things) が進展している。また、人工知能 (AI: Artificial Intelligence) の進展は、デジタル化に伴う膨大なデータからの付加価値を創出し、ロボティクスの進展は、デジタル化のリアルな社会への実装を加速させ、イノベーションの対象領域を拡大させている。

これらを中心とするデジタルテクノロジーは、イノベーションを引き起こしている ICT 技術の組合せを指すもので、特定の技術を指すものではない<sup>1</sup>。しかしながら、デジタルイノベーションの事例を見れば、ここ数年で急速に進展、あるいは新たに登場したテクノロジーがイノベーション実現の鍵となっていることは間違いない。また、新たなビジネスモデルの創出がデジタルテクノロジーの需要を生み出す、イノベーションの相乗サイクルが形成されている。

注目される IoT、AI、ロボティクス、セキュリティ関連技術

昨今のデジタルテクノロジーの進展がもたらす変化として、下記の 3 点が注目される。1 点目は、IoT 関連技術の進展によるデジタル化の対象範囲の拡大である。IoT 関連技術の進展は、ヒト、モノを広範に含む、これまでとは次元の異なるデジタル化を進展させている。また、デジタル化の対象範囲が拡大することで、膨大なビッグデータが生み出され、AI 等を含めたデータの分析技術の進展がそれらのデータから新たな付加価値を創出している。2 点目は、モノとして捉えられてきた機械等へのデジタルテクノロジーの実装である。ロボットや自動運転、ドローン等のロボティクス関連技術は、様々なサービスとの融合により、従来のメカトロニクスの進展を超えて進化しつつある。そして 3 点目は、セキュリティ関連技術の進展である。モノ、ヒト、サービスが繋がるデジタル化の進展においては、安全・安心の観点から、従来にも増してセキュリティの確保が不可欠となっている。そうした中で、ブロックチェーンは、セキュリティへの対処を提示すると同時にビジネス上のイノベーションを引き起こしている。

本章では、上記に概説したデジタル化による変化を牽引するデジタルテクノロジーとして注目される IoT、AI、ロボティクス、セキュリティの 4 つのテクノロジーの関連技術を取り上げ、最新動向と今後の展望を概観する。

## 2. IoT 関連技術

### (1) IoT 基盤

#### ①IoT 基盤の構成

IoT 基盤はセンサ・デバイス、ネットワーク、アプリケーション、プラットフォーム層から構成

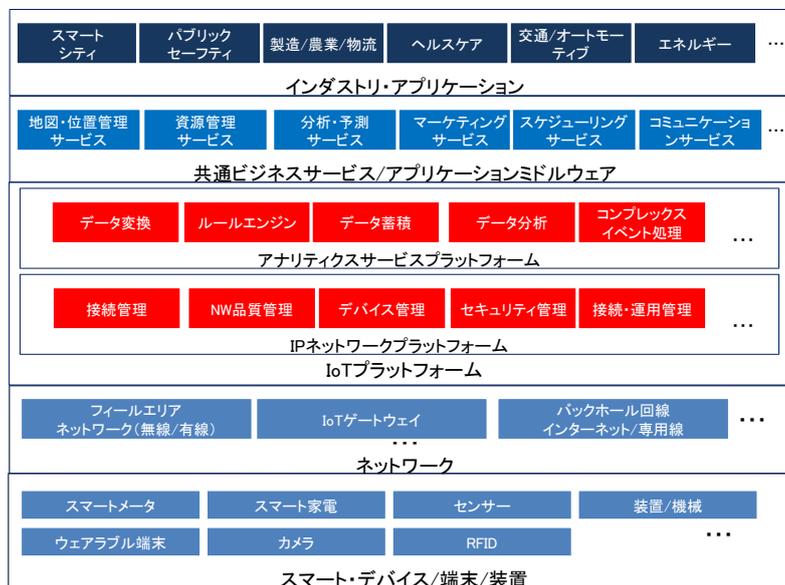
IoT 基盤は、モノ、ヒト、サービスを繋ぎ、新たな付加価値を生み出すための ICT 基盤である。IoT 基盤は、実空間との接点となるセンサやデバイス等の端末層、フィールドエリアからバックフォールまでのネットワーク層、ユーザにサービスを提供するアプリケーション層とその基盤となるプラットフォーム層から構成される。プラットフォーム層は、接続及びデバイス管理、セキュリティ管理の機能に加え、データ管理、データ分析機能から構成される<sup>2</sup>(【図表 1】)。デ

<sup>1</sup> ロンドンに本拠を置く欧州最大級のベンチャーキャピタルファンド、アトミコは、2016 年 11 月に公表したレポート「The State of European Tech」で、欧州における AI、ロボット工学、仮想現実、拡張現実、ドローン、3D プリンティングのデジタルテクノロジーの進展に注目し、これらのデジタルテクノロジーを総称して「ディープテック」と名付けている。

<sup>2</sup> IoT 基盤では、大量のデータを取り扱う必要があるため、ビッグデータの処理技術である分散処理技術、データの高速度処理のためのストリームデータ処理技術、CEP (Complex Event Processing: 複合イベント処理)、インメモリ処理技術等が利用される。

ータ分析機能は、分析目的に応じた様々な分析機能から構成され、AI による分析機能等も含まれる。

【図表 1】IoT 基盤の階層と主な機能



(出所)IoT 基盤提供企業等の資料をもとにみずほ情報総研作成

## ②IoT 基盤のアーキテクチャ(エッジコンピューティング)

IoT 基盤のアーキテクチャとして広がるエッジコンピューティング

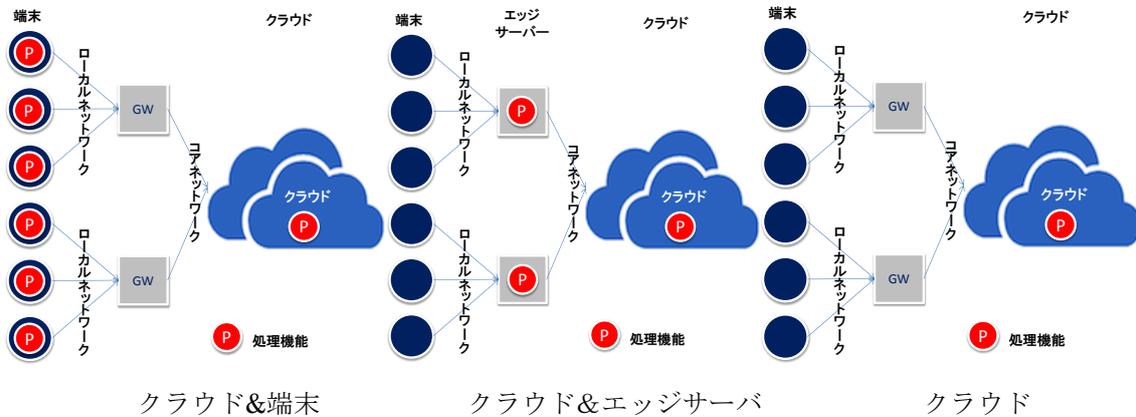
IoT の活用領域の広がりを受けて、IoT 基盤のアーキテクチャに関する技術開発が進展している。比較的限られた範囲でのモニタリング等、取扱うデータ量が限定される場合や、迅速なレスポンスが求められない場合、シンプルにクラウド側にデータを集約し処理することが可能である。しかし、収集したデータを即時に処理し、機器のコントロールやリアルタイムな制御が必要な場合やネットワークに接続される端末の数や処理するデータが膨大な場合、クラウド側のサーバにデータを集約して一括処理する方法では、ネットワークトラフィックと処理速度の観点から問題が生じる可能性がある。こうした課題に対応するため、端末や IoT ゲートウェイ等のエッジサーバで一部の処理を行う分散処理(エッジコンピューティング)とクラウドを組み合わせたアーキテクチャを持つ IoT 基盤が注目されている(【図表 2】)。例えば、産業用ロボット大手メーカーのファナックは、エッジコンピューティング(Preferred Network による分散協調型の強化学習を導入)とクラウドを組み合わせた工場向けプラットフォーム「Field system」を公表しているほか、産業機器用 IoT 基盤で先行する米 GE も、2016 年にクラウドとエッジコンピューティングのアーキテクチャを持つ「Predix Edge System」<sup>3</sup>を発表している。エッジコンピューティングのアーキテクチャは、工場や産業機器制御の用途に限らない。自動運転分野では、ダイナミックマップ<sup>4</sup>を活用した自動運転支援を目指している。そこでは、詳細な地図や交通情報などのリアルタイム情報を、クラウドによる全体管理とエッジサーバによるローカル(地域)単位で管理するアーキテクチャ上に構築し、全体管理とリア

<sup>3</sup> 小型医療機器からコントローラ、ゲートウェイ、ルータ等の IoT 機器に機器用アプリケーションを組み込みクラウドと接続することが可能である。これによりプログラムの高速化、機器ローカルな分析データによる機器制御が可能となるとしている。

<sup>4</sup> ダイナミックマップは、動的情報を組み込んだデジタル地図であり、基盤的地図情報(高精度 3 次元地図情報)と自動運転等をサポートするための付加的地図情報(速度制限など静的情報に加え、事故・工事情報など動的な交通規制情報等)からなる。

リアルタイム性が必要な情報収集・提供を実現しようとしている。

【図表 2】IoT 基盤のアーキテクチャ



(出所)IoT 基盤提供企業等の資料をもとにみずほ情報総研作成

セキュリティ確保でも優位性を持つエッジコンピューティング

エッジやフォグコンピューティングの優位性として、セキュリティ確保の観点も挙げられる。IoT 活用の対象がバイタルデータ等のプライバシー情報を含む場合や機密情報を取り扱う場合に、漏洩機会を低減するために必要最低限のデータをクラウドに転送する方式は有効である。また、データを国境・地域を越えて転送した場合、セキュリティ保護に関する規制への対応が課題となる可能性もある。こうしたセキュリティの課題に対して、エッジやフォグコンピューティングの活用が有効に機能する可能性が高いと考えられる。

今後、ハードウェア、ソフトウェアの相互運用性、エッジコンピューティングの最適化が進展

エッジコンピューティングとクラウドコンピューティングの組合せは、最近の IoT 基盤のアーキテクチャの主流となりつつあり、定義や技術の標準化等を通じてハードウェア・ソフトウェアの相互運用性等が高まることが期待される。エッジコンピューティングの実効性を高めるには、クラウドによる全体最適機能とエッジやエッジサーバによる部分最適機能の連携、及びエッジとクラウドの機能分担の最適化等が必要になる。そのため、IoT 活用の目的に応じたエッジサーバの階層化や負荷変動に応じたリソースの動的最適化等、エッジコンピューティングの最適化を図るための技術が進展すると予想される。

(2) 認識関連技術

①画像・音声データから対象や状況を同定、分類する画像・音声認識技術

画像・音声認識技術の必要性

近年、様々なモノに、GPS、加速度センサ、感圧センサ等のリアルな世界をデジタルデータとして取得するセンサが実装されている。特に、画像センサであるカメラや音声センサであるマイクは、スマートフォンや自動車等の我々に身近なモノに実装され、日々、大量の画像データ、音声データを取得している。これらを、人が直接、見て、聞くことで、楽しむ、理解するといった従来の使い方を超え、コンピュータによる人の判断や行動の支援あるいは代替に活用するためには、人手を介することなく、画像データ、音声データから対象や状況を同定、分類する画像認識技術、音声認識技術が必要となる。

<sup>5</sup> IoT 活用の進展に伴い、エッジコンピューティングの推進を図る取組も活発化している。クラウドとエッジコンピューティングによるアーキテクチャとしてフォグコンピューティングを提唱した Cisco 等による「Open Fog Consortium (OFC)」では、フォグコンピューティングの定義や技術の標準化を進めている他、欧州電気通信標準化機構 (ETSI) でもモバイルネットワークを中心としたエッジコンピューティング技術の標準化等が進められ、日本からも通信キャリアや ICT ベンダー等の情報通信関連企業が参加している。

## ②ディープラーニングの導入により人の認識率を超えた画像認識技術

オブジェクトを検出する特定物体認識とカテゴリに分類する一般物体認識

画像認識技術は、画像データから、文字や顔等のオブジェクトを認識し検出するパターン認識技術であり、特定物体認識と一般物体認識の2つに大別される。特定物体認識は、顔等の特定のオブジェクトを検出する技術であり、一般物体認識は、対象を特定せずに、画像中のオブジェクトをカテゴリに分類する技術で、より難易度が高い。これらの技術は、人が行っていた作業が自動化され、コンピュータが大量の画像を一定の精度で処理できるため、様々な分野で応用が進んでいる。

ルールベースによる画像認識とその課題

画像認識技術が、先行して応用が進められた領域の一つとしてファクトリーオートメーションが挙げられる。黎明期には、古典的なパターンマッチングから実利用が始まり、部品のピッキングや仕分け、欠陥検査等に利用され、産業用ロボットの目となった。しかし、パターンマッチング等、人が決定したルールでは、想定外の画像には対応できない<sup>6</sup>。また、検出対象や撮影条件が変わる度に、人がルールを変更・調整しなければならず、多大な工数がかかってしまう。

大量の教師データを学習し検出ルールを求めめる機械学習の導入

こうしたルールベースの限界を超えるのが、機械学習である。機械学習では、コンピュータが、大量の教師データ<sup>7</sup>を学習して検出ルールを求めめる。人が決めるのは学習アルゴリズムである。そのため、検出対象が変わっても学習アルゴリズムを変更・調整すれば済むため、ルールベースの場合と比較して、工数が削減でき、汎用性が高く、かつ精度も向上する場合が多い。さらに、画像認識を行いながら、教師データを収集し、継続的に性能を改善できるというメリットもある。2001年に、高速かつ高精度な顔認識を実現する機械学習アルゴリズムが Viola-Jones により発表され、これがブレイクスルーとなり、機械学習の導入が一気に進んだ。同時に、撮影条件の変動に強い画像特徴量の研究開発が活発に行われ、画像から特徴量を抽出し機械学習で認識するという手法が画像認識の主流となっていった。

ブレイクスルーをもたらしたディープラーニングの登場

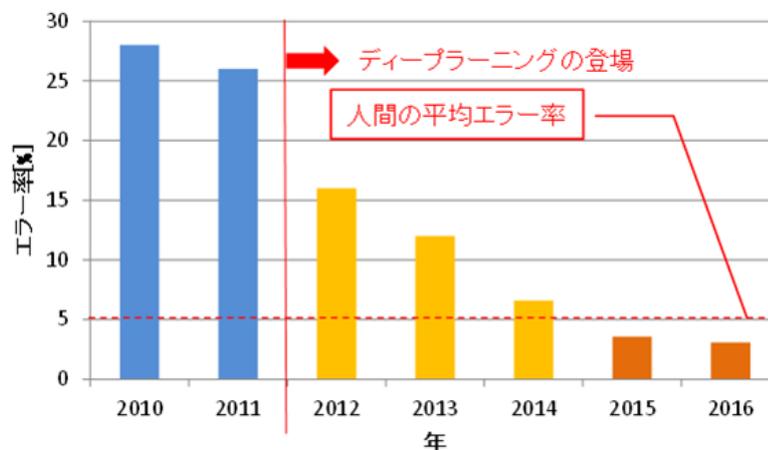
次のブレイクスルーとなったのが、ディープラーニングの登場である。それまでの機械学習では、画像特徴量の計算ルールは人が決定していた。つまり、画像特徴量の計算方法自体は、機械学習によるものではなくルールベースで与えられたものであった。ディープラーニングでは、画像特徴量についても、人手を介さずに計算ルールを決定するため、特徴量の計算から機械学習までの一連の処理全体が、データに合わせて最適化される。一般物体認識技術の国際的なコンペティションである ILSVRC<sup>8</sup>において、2012年にディープラーニングを用いた研究グループが圧勝し大きな注目を浴びた。その後も精度は向上し、現在では、人間の認識率を超える精度を達成している(【図表3】)。

<sup>6</sup> 例えば、パターンマッチングの場合、照明が変動しただけで誤差が大きくなってしまいうため、撮影条件を厳密に決定する必要があり、汎用性に欠ける。

<sup>7</sup> 人間は教師から学んでいくが、機械学習では、正解つきのデータを教師として学んでいくため、その正解つきデータのことを教師データと呼ぶ。

<sup>8</sup> ImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge。2010年より始まった大規模画像認識コンペティション。

【図表 3】画像認識コンペティション IL SVRC における認識精度の変遷



(出所)ILSVRC の資料をもとにみずほ情報総研作成

応用が進む画像・音声認識技術

既に、スマートフォンでは、これらの技術を応用した、カメラ撮影時に顔にオートフォーカスするための顔認識機能や、パスワードの代わりにロックを解除するための指紋認証機能が搭載されている。また、撮影した写真からリアルタイムで文字を認識する OCR<sup>9</sup>機能を持つアプリケーションも登場している。自動車では、車線を認識することで車線逸脱を警告する機能や、障害物や歩行者を検知して自動でブレーキをかける機能等も実用化されている。

精度の向上と人の目では捉えることができない新たな画像データの活用

今後も、画像認識技術は精度が向上し、適用範囲も広がっていくことが予想される。また、既に様々な分野で導入が始まっている三次元センサ(デプスセンサ)の普及や、取得できる波長の高解像度化、広帯域化をもたらすハイパースペクトルカメラ等の実用化により、人の目では捉えることができない、広い意味での新たな画像データを活用するための画像認識技術も発展していくことが期待される。

### ③認識性能が向上しつつある音声認識技術

発話内容・人数を推定する音声認識技術

Amazon や Google が、人が対話形式で操作することができる AI スピーカーを発売し、注目を集めているが、これらのデバイスには音声認識技術が使われている。音声認識技術は、音声データから、発話内容や発話人数等を推定する技術である。ノイズ除去、話者分離(話者ごとの音声に分離する技術)、話者認識(個人認識)、発話内容認識、といった技術から構成される。画像認識同様、音声認識についても、人が考えたルールベースの認識から始まり、様々な統計処理手法が検討され、機械学習に置き換わってきた。

音声と画像の違いと音声認識の制約

画像と音声で決定的に異なるのは、画像の場合、複数のオブジェクトが1つの画素に映りこむことがないのに対して、音声には様々なノイズや対象外の話者音声が入るといった点である。そのため、音声認識は、画像認識と比較すると、難易度が高くなることが多く、主にヘッドセットを利用し、ノイズの混入がない状況、かつ一定のテンポで、単語を区切って発話するようなケースから実利用が始まった。しかし、それもスマートフォンとディープラーニングの登場により変わりつつある。

<sup>9</sup> 光学文字認識(Optical character recognition)。画像データから文字を読み取り、テキストデータに変換する技術または装置。

ディープラーニングで認識性能が向上する音声認識

スマートフォンに話しかけて命令する、あるいはテキスト化する行為は日常的な光景となりつつあるが、そうした音声には様々なノイズが混入している。このため、音声認識は失敗するケースが多々あるが、人が訂正した内容を教師データとして収集し、学習する仕組みを持つことで、認識性能は日々向上させることができる。今後は話者分離等にも適用されていくものと考えられ、画像認識と同様に、人に匹敵あるいは超越するような認識性能を示すことも期待される。

### (3) VR/AR 技術

VR/AR は次世代の有望技術として注目を集め、製品開発の苛烈な競争が始まっている

VR は「現物・実物ではないが、機能としての本質は同じであるような環境を、人間の五感を含む感覚を刺激することにより工学的に作り出すもの」等と説明される技術である。また AR は「人が知覚する現実環境をコンピュータにより拡張するもの」等と説明される技術である。近年、情報処理能力の向上や、センシング技術、ディスプレイ・デバイスの高度化などの情報通信関連技術の一層の発達に伴い、従来と比較にならない程の没入感及び高精度な VR/AR を実現する端末・設備が比較的手頃な価格で市場に登場し始めている。VR/AR が今後の有望技術と目されることもあり、いち早く米国の Facebook、Microsoft、Google 等の主要大手 IT 関連企業が研究・製品開発に乗り出す一方、中国や韓国等のアジア企業や、諸外国の技術ベンチャー企業等が積極的に製品開発に取り組んでおり、苛烈な研究・開発競争の真ただ中にある。本項では VR/AR 等を実現する仕組みとして、競争が激しくなりつつある、ヘッドマウントディスプレイに焦点を当てその動向を示す。

#### ① 仮想体験を実現する VR への期待と懸念

比較的簡便に VR を体験できる専用端末が登場

このブームとも言える VR/AR への注目は、これまでにない仮想体験が得られる手段として、Oculus Rift や HTC VIVE、PlayStation VR 等の比較的簡便に VR を体験できる専用端末の発売を発端としている(【図表 4】)。

【図表 4】 主要な VR 用ヘッドマウントディスプレイ

端末	概要
Oculus Rift	米Oculus VR社が開発したVR用ヘッドマウントディスプレイ。頭の動きに表示が追従するヘッドトラッキング機能等を有する。
HTC Vive	HTCとValveが共同開発したVR用ヘッドマウントディスプレイ。ヘッドトラッキング機能を有し、さらに棒状のコントローラーを使い、手を動かして物を掴む動きも可能。
PlayStationVR	ソニー・コンピュータエンターテインメントによる、PlayStation 4向けのVR用ヘッドマウントディスプレイ。家庭用ゲーム機を使用する機器であり、簡易にセットアップ可能。

(出所) みずほ情報総研作成

VR は人間の感覚として体感して初めてその凄さが分かる。そのため、VR 関連市場を拡大するために、まずは多くの人に VR を体験してもらうことをねらいとして、バンダイナムコの「VR ZONE」など、様々なプレイヤーが VR 体験施設等を運営し、安価で VR 体験を提供する取組が進められている。

更なる没入感や精度向上を目指した取り組みが進む

また、上記のような取組と並行して、研究開発や製品開発の観点から、現在発売されている端末以上の更なる没入感や精度向上を目指した取り組みも進められている。例えば、一層リアルな仮想体験を実現するための違和感のない表示の仕組みや、人の視線や表情、更には視覚以外の触覚等感覚を仮想世界に接続させる仕組み等の研究開発等である。こうした研究開発が進むことで、今後一層リアルな仮想体験が可能になると期待される。

②再注目されつつあるスマートグラスとともに、実務面で役立つ AR の活用への期待

スマートグラスと AR の典型的な活用シーンには、物流拠点での商品等のピッキング作業が挙げられる

AR は、スマートフォンが登場した 2008 年頃に、情報表現の新たな機能として浸透し、その後、注目度は一時下火になった技術だが、スマートグラス等の新たな情報端末の登場とともに、再び注目を集めつつある。特に、スマートグラスについては、利用者が両手を空けることができ、さらに現実環境を把握しつつ、AR によって現実環境に紐づいた付加情報が取得できるため、様々な実務の中で役立つとして期待されている。例えば、典型的な活用方法として、物流拠点での商品等のピッキング作業がある。作業者がピッキングすべき商品等を倉庫から探し出す際に、スマートグラスを通して AR 機能により商品の場所について指示を受ける等、作業効率化等のメリットが享受可能な仕組みとして期待されている。

③現実環境と仮想世界がミックスされる MR

今後は MR の実用化に向けた競争が激しくなる

VR と AR はあわせて語られることが多いものの、ここまで説明してきたとおり、両者の特徴は異なるものである。その中で、今後は、VR と AR のそれぞれの特徴を踏まえつつ、各種情報や仮想世界の情報を現実世界により自然な形で付加し、現実環境と仮想世界をミックスさせた世界を作り出す MR (Mixed Reality) の実用化に向けた競争が激しくなると言われている(【図表 5】)。

【図表 5】 VR/AR/MR を実現するヘッドマウントディスプレイの整理イメージ

没入的	<p>&lt;VR専用端末&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oculus Rift</li> <li>• HTC Vive</li> <li>• PlayStation VR 等</li> </ul>	<p>&lt;MR用端末&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• HoloLens</li> <li>• Meta 2</li> <li>• Magic Leap 等</li> </ul>
	<p>&lt;簡易VR端末&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Samsung Gear VR</li> <li>• Google Cardboard 等</li> </ul>	<p>&lt;AR端末&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Google Glass Enterprise Edition</li> <li>• Osterhout Design Group</li> <li>• EPSON MOVERIO 等</li> </ul>
環境的	仮想現実	拡張現実

(出所)みずほ情報総研作成

現状でも一定程度の MR を実現した端末が発売されている。例えば、マイクロソフトの「HoloLens (ホロレンズ)」や、Meta の「Meta 2」などが代表的な端末である。また、まだ発売されていないが高度な MR を実現するとして話題となっている Magic Leap の「Magic Leap」がある。

これら MR 端末を装着して現実環境を眺めると、目の前の現実環境において、あたかも SF の様な新たな体験ができる。例えば、大きなクジラといった仮想映像が、現実環境である目の前の床から飛び出てくるといった体験が自然な形で実現できるのである。

MR は、VR や AR とはまた違った新しい体験を実現する期待度の高い技術

現実環境と仮想世界をミックスさせた世界を作り出す MR は、VR や AR 以上に、我々の生活や仕事等に役立つと期待されており、我々の体験を大きく変える可能性を秘めた技術として、高く期待されている。しかし、VR、AR 以上に、今後解決すべき困難な技術的な課題がある。例えば、MR 端末の視野角の拡大や、映像の高精度化、違和感のない表示の仕組み、現実環境の奥行などを踏まえた現実世界と仮想映像との融合等が、大きな課題となっている。

#### (4) 通信技術

デジタルビジネスを支える2つの通信方式

デジタルビジネスを支える通信技術として、高速化・大容量化を追求した「5G」と、省電力化・低価格化を追求した「LPWA」の2つの方式に注目が集まっている。本項では、これらの新たな通信技術について最新の動向を示す。

##### ①第5世代移動通信システム(5G)

IoT 時代の情報通信基盤として期待される5G

現在の LTE/LTE-Advanced の、次の世代の移動通信システムである第5世代(以降、5G)は、政府の「未来投資戦略 2017」において、2020 年までのサービス開始が謳われ、実用化に向けた取り組みが進められている。5G は、「IoT 時代の情報通信基盤」とも言われており、従来携帯電話が、2G→3G→4G と発展してきた際の通信の高速・大容量化技術に加え、IoT に必要とされる新たな技術的な特徴を有する。

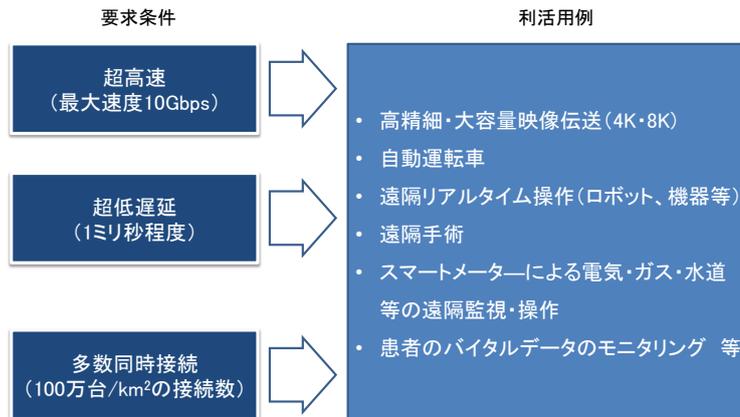
3つの技術的特徴「超高速」、「超低遅延」、「多数同時接続」

5G の技術的特徴は、「超高速」、「超低遅延」、「多数同時接続」の3点である。1点目の「超高速」では、現行の LTE よりも 100 倍高速である最大速度 10Gbps が実現される。10Gbps は数値だけではその速さを実感しづらいが、例えば、2時間大容量映像コンテンツを約3秒でダウンロードすることができる。2点目の「超低遅延」とは、自動運転のための情報のやり取りや、利用者が端末から離れたところにある機器を、遅延を感じることがなく操作できる状態を目指している。具体的には、1 ミリ秒程度の遅延を目指しており、これは LTE の 1/10 となる。3点目の「多数同時接続」とは、多数の機器が同時にネットワークに接続する状態であり、具体的には 1 平方キロあたり 100 万台の接続を目指している。これは室内で約 100 個の機器がネットに接続する状況と同一である。なお、現行の技術では数個単位での接続に留まる。

5G の実現による IoT における利活用の拡大

5G が実現すると、携帯電話やパソコン等の通信機器や、家電製品、自動車、ビル・住宅設備等の身の回りに置かれた多数の機器・センサ類がネットワークにつながり、超高速での情報のやり取りがこれまで以上に容易にできるようになる。これにより、例えば、高速、低遅延が求められる「自動運転車」や、「ロボットや機器の遠隔リアルタイム操作」、「遠隔手術」の実現が期待できる。また多地点に設置されたセンサとの情報のやり取りが必要な、「スマートメーターによる電気・ガス・水道等の遠隔監視・操作」や「患者のバイタルデータのモニタリング」等が実現される可能性がある(【図表 6】)。

【図表 6】 5G の特徴及び利活用



(出所) 総務省資料よりみずほ情報総研作成

2017 年より、全国各地で実証試験が開始

2017 年現在、5G の社会実装に向け、技術の研究開発と、研究開発成果の検証のための実証試験が進められている。実証試験に関しては 2017 年度より開始され、東京を含む全国 16 地域において、高精細映像配信、遠隔医療、隊列走行等をテーマに、携帯電話事業者と様々な利活用分野の関係者が参加している(【図表 7】)。

【図表 7】 5G 総合実証実験の実施概要<sup>10</sup>

	実施主体	主な想定パートナー	概要	想定実施場所	技術目標
I	NTT ドコモ	・東武タワースカイツリー ・総合警備保障 ・和歌山県	高臨場・高精細の映像コンテンツ配信や広域監視、総合病院と地域診療所間の遠隔医療に関する実証	・東京都(東京スカイツリータウン周辺) ・和歌山県	ユーザ端末 5Gbps の超高速通信の実現 ※基地局あたり 10Gbps 超
II	エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ	・東武鉄道 ・インフォシティ	高速移動体(鉄道、バス)に対する高精細映像配信に関する実証	・栃木県(東武スカイツリーライン、日光線沿線) ・静岡県	高速移動時における 2Gbps の高速通信の実現
III	KDDI	・大林組 ・日本電気	建機の遠隔操作など、移動体とのリアルタイムな情報伝送に関する実証	・埼玉県	1ms(無線区間)の低遅延通信の実現

(出所) 総務省「電波政策の動向について」よりみずほ情報総研作成

## ②LPWA (Low Power Wide Area) 通信

IoT 時代の省電力化・低価格化を求める情報通信基盤として期待

次世代通信となる 5G では、高速化・大容量化の追求のみならず、省電力化・低価格化を追求する技術も導入される。IoT においては、個々の端末からの情報は少ない一方、大量に設置された端末から高頻度で通信が行われる。また、端末への有線電力供給が必ずしも確保できず、電池による駆動となることも予想されることから、消費電力を抑制し、通信料金を安価に抑える技術が必須となるためである。この省電力化・低価格化を実現する無線通信技術を「LPWA」(Low Power Wide Area: 低電力でかつ少ない基地局で広域をカバー)と呼んでいる。

<sup>10</sup> 現時点での実施内容であり、今後、変更や追加等があり得る。

現在注目すべき  
主要な規格は 3  
つ

LPWA には規格が複数あるが、現在、注目すべき主要な規格としては、「NB-IoT」「SIGFOX」「LoRaWAN」が挙げられる。このうち、「NB-IoT」は 3GPP (Third Generation Partnership Project) が取り組む認可周波数帯での LPWA で「セルラー系 LPWA」と呼ばれ、また、「SIGFOX」及び「LoRaWAN」は IEEE 及び各アライアンスが産業分野等で汎用的に使うために割り当てた周波数帯での LPWA で「非セルラー系 LPWA」と呼ばれ、大別されている。

NB-IoT、SIGFOX、LoRaWan の特徴は下表のとおりである（【図表 8】）。

【図表 8】 LPWA (NB-IoT、SIGFOX、LoRaWan) の特徴

規格	NB-IoT	SIGFOX	LoRaWAN
区分	セルラー系	非セルラー系	非セルラー系
推進団体等	3GPP	SIGFOX	LoRa Alliance
標準化等	2016 年 6 月標準化完了	仏 SIGFOX 社 2010 年設立	LoRa Alliance 2015 年 2 月設立、400 社超が参加
電波免許	必要	不要	不要
空中線電力	100mW, 200mW	20mW, 250mW	20mW, 250mW
周波数帯	LTE 帯域 (700MHz 及び 800MHz~2GHz 帯域等)	Sub-GHz 帯 (920MHz 帯)	Sub-GHz 帯 (920MHz 帯)
通信速度	約 100kbps	約 100bps	数十 bps~250bps 程度
最大通信距離 <sup>1)</sup>	20km 程度	50km 程度	15km 程度
技術仕様の 特徴	LTE との共存が容易	1 国 1 事業者のビジネスモデル	仕様がオープンで誰でもサービス展開が可能

(出所)総務省新世代モバイル通信システム委員会「IoT 時代の無線通信システムの検討状況」資料等から  
みずほ情報総研作成

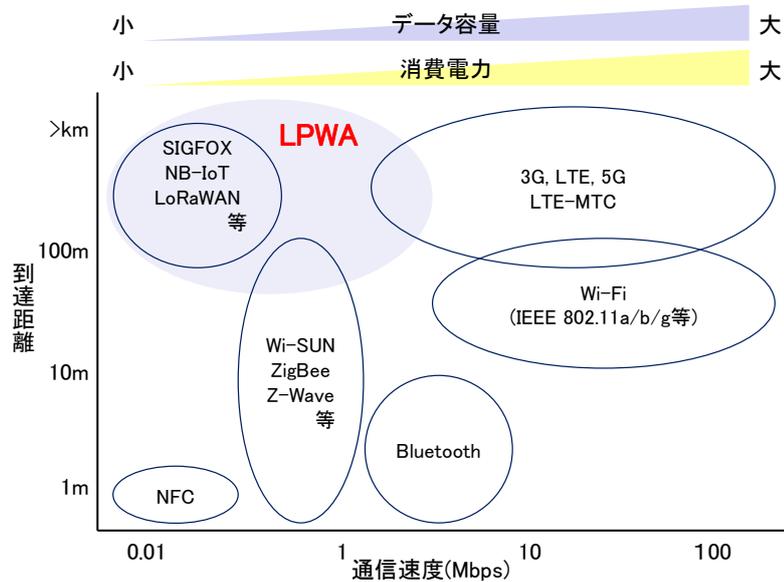
LPWA は他と比較して IoT/M2M 向きの規格

LPWA と他の無線通信機技術を通信速度と到達距離の観点で比較すると次表のようになる（【図表 9】）。LPWA は通信速度は遅いものの消費電力が小さく到達距離も長いいため、IoT/M2M に特化した活用が可能と期待されている。

長い到達距離を確保できれば良いとすれば、携帯電話ネットワークの利用も IoT/M2M への活用に適切と思われるだろうが、ここで問題となるのは通信料金である。3G/LTE では 1 回線当たり数百円/月となるが、例えば京セラコミュニケーションシステムが展開する SIGFOX の通信料金は、仮に 100 万台のデバイスが 2 回/日に通信する場合、1 回線当たり 100 円/年 (8.3 円未満/月) になるとしている。デバイス数が多くなれば通信料金の差異は全く無視できないものとなる。

<sup>1)</sup> 移動中でなくかつ遮蔽物がない場合であり、例えばビルが乱立する都市部や木が生い茂る森の中において同等の性能を発揮できるかどうかは検証段階

【図表 9】 主な無線通信技術の通信速度と到達距離との比較



(出所)総務省「平成 28 年情報通信白書」等からみずほ情報総研作成

複数の規格の使い分けが進む

現状、複数の規格の争いが活発化するというよりは、複数の規格を特徴に応じて使い分けようという考え方が強いようである。

通信事業者 (NTT ドコモ、KDDI、ソフトバンク) は NB-IoT 等によるサービスを 2017 年度に商用化するとしており、セルラー系 LPWA の普及も本格化すると推察されるが、一方で、通信事業者自身が並行して非セルラー系 LPWA の商用化も進めている。例えばソフトバンクによる静岡県藤枝市での LoRaWAN 環境の整備や、KDDI による SIGFOX へのエコシステムパートナーとしての参画などが挙げられる。また、ソニーセミコンダクタソリューションズによる独自の LPWA ネットワーク技術の開発を公表 (2017 年 4 月)、英 Weightless SIG (2012 年設立の IoT 無線の推進団体) による規格 Weightless-P の日本展開の積極化など、新たな規格の出現・普及も見られ、当面は様々な規格をそれぞれの特徴に応じて使用する状況が続くものと思われる。

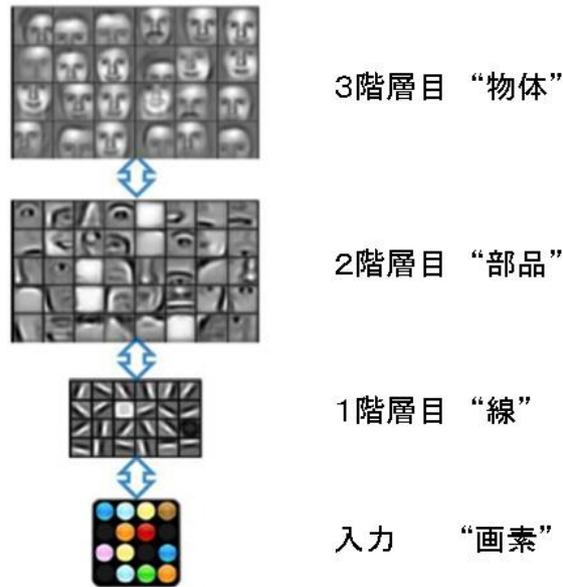
### 3. AI 関連技術

#### (1) AI 関連技術の全体像

「特徴量」の自動抽出を可能にしたディープラーニング

表面的なデータの背後に潜む構造を自動的/半自動的に学習し、予測・認識等に利用する技術を AI と言う。ディープラーニングと呼ばれる新たなアルゴリズムの登場により、AI の精度が飛躍的に向上している。画像認識では人間のレベルを超え、囲碁、将棋もトッププロが太刀打ちできなくなってしまった。このディープラーニングの特異な性能を実現している最大の鍵は、「特徴量」抽出の自動化である。「特徴量」とは、データ構造を説明するための材料に相当するものである。ディープラーニングは、その「特徴量」を元データから自動的に構成すると同時に、「特徴量」を何段階も階層的に組み合わせていき、最終的にデータの構造を表現することを可能にしている (【図表 10】)。以前は、この「特徴量」は手動で定義する必要があったため、汎用性や精度に課題があったが、ディープラーニングの活用により、入力データを与えるだけで「特徴量」の自動的な抽出が可能となった。

【図表 10】 ディープラーニングの概念

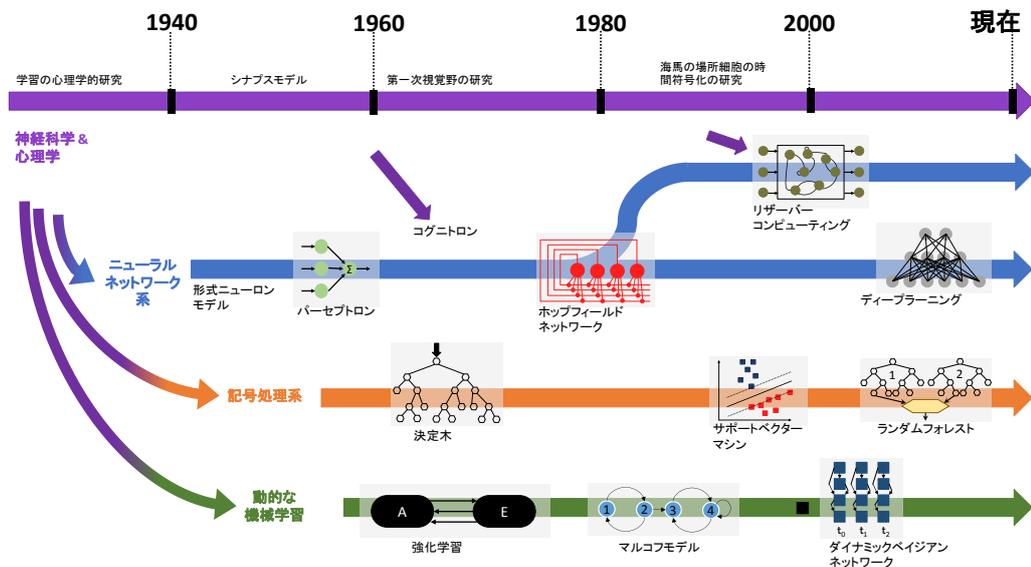


(出所) NIPS 2010 Workshop 資料をもとにみずほ情報総研作成

AI の二大方式：  
ニューラルネット  
ワークと記号処  
理

ディープラーニングによって、直ちに AI 全体が置き換えられるのかと言えば、現状ではそうっていない。AI のアルゴリズムには、いくつかの流儀があり、それぞれが独立して発展している状況である(【図表 11】)。ディープラーニングは、人間の脳の構造を模擬したニューラルネットワークと呼ばれる系統に含まれる。この系統の手法は、データに潜むパターンを認識するのに適した手法であるが、正しい答を出力するとしても、その答に至った理由を人間に分かりやすく提示することが難しいという課題がある。もう一つの主要なアルゴリズムの系統として、「決定木」に代表される、データを説明するルール(記号間の関係)を見つける手法がある。こちらは、答の解釈は人間にとって分かりやすくなる一方、記号の定義は人間が手で与える必要がある。

【図表 11】 AI アルゴリズムの系統図



(出所) C.D.James et al., Biol. Insp. Cog. Arch., Vol.19, pp.49-64 (2017)をもとにみずほ情報総研作成

## (2) AI 関連技術の研究開発の今後の方向性

AI の今後の方向性: パターンと記号の融合

現在の AI では、パターンの認識によるものと記号の認識によるものが分離してしまっており、これらを融合させることが今後の AI の発展の可能性の一つと考えられている。求められているのは、学習されたパターンを記号として認識し、パターン処理の世界と記号処理の世界を繋ぐ双方向のマッピングを自在に行うことのできる AI である<sup>12</sup>。

ネットワーク構造の自由度により可能となるモデル探索

現在、世界の最先端の研究は、ディープラーニングをベースとして、この課題の解決に全力を挙げている。ディープラーニングには、「特徴量の自動抽出」のもう一つの破壊的能力として重要な、相当に複雑な構造を持つニューラルネットワークでも構築できる能力がある。このことは、AI の研究開発者から見ると、様々な機能をモデルに組み込むことができる広大な自由度を手に入れたことを意味する。これにより、あたかも生物進化におけるカンブリア爆発において様々な体の形態が試されたように、数多くのモデルが提案され、試される様になっている。

Active な人工知能の実現へ向けた世界最先端の研究開発

世界のトップレベルの研究グループは、この新しい自由度を活かして「Active な AI」を実現することで、パターンと記号の融合という課題を解決しようとしている。現状の画像認識等のパターン認識は、データが与えられれば認識する、というものであり、自ら認識すべきものを探しにいくことは無い。人間が自律的に学習しながら行動できるのは、記憶、注意、計画、予測、メタ認知<sup>13</sup>等の認知機能が人間に備わっているからだが、こうした認知機能を AI にもたせることが、上記の課題を解決する鍵になると考えられている。周知の様に、これらの AI の最先端の研究開発には世界的に莫大な資金が注ぎ込まれている。数年以内には、動的で不確実な環境下で計画を策定する AI や、自律的に(場合によっては人に質問しながら)知識を獲得し成長する AI などが実現している可能性は十分にあると考えられる。

## (3) AI 向け計算デバイスの研究開発

人工知能に適した計算用ハードウェアの開発

また、AI のアルゴリズムの発展を受けて、AI の学習や推論を行うためのハードウェアの研究開発も活発化している。脳の仕組みを参考にしたアーキテクチャである非ノイマンコンピューティングもしくはニューロモーフィックコンピューティングと呼ばれるものがその一つである。

非ノイマンコンピューティングが AI の観点から再注目されている

非ノイマンコンピューティングは、ここ最近に AI が注目される以前から、メモリから命令を逐次取り出しプロセッサで実行する従来のノイマンコンピュータ向けの半導体チップの微細化の限界<sup>14</sup>から、開発されてきていたものである。IBM の TrueNorth が有名であるが、富士通、東芝等も参入している。大幅な省電力化も期待されることから、エッジやフォグでの利用にも適しており、今後多様なニーズに答えられるデバイスが開発されることが期待されている。

<sup>12</sup> どの様に記号とパターンの対応を AI に学習させるか、という課題はシンボルグラウンディング問題と呼ばれ、AI の代表的な課題の一つである。

<sup>13</sup> 自分が認知していること、及びその内容を客観的に認知すること。

<sup>14</sup> 従来半導体チップの微細化による集積度向上は 1.5 年に倍程度になるという「ムーアの法則」に従って進んできていたが、半導体チップの製造プロセスの微細化が進み、原子・分子の大きさに起因する微細構造の乱れが無視できなくなっており、近い将来に頭打ちになるものと考えられている。

量子コンピュータにも期待が高まっている

さらに最近では、量子コンピュータの実用化が現実味を帯びてきており、注目を浴びている。量子コンピュータは、物理状態の重ね合わせが出来るという量子力学の原理を利用して計算を行うものであり、その能力の規模はビット数に対応するキュービットの数で表される。2,000 キュービット(2 の 2,000 乗の可能性を一度に計算可能)のシステムは既の実現されている。量子コンピュータにはいくつかの方式があり、Google に買収された D-Wave、Microsoft、IBM 等もそれぞれに研究開発に力を入れているが、我が国の「革新的研究開発プログラム」で開発されているコヒーレントイジングマシン<sup>15</sup>は、常温動作が可能であり、問題に含まれる要素間の相関が密な問題にも対応可能であることを特徴とする最も有望な方式の一つである。プログラムの計画では、平成 31 年度末までに、最大 10 万キュービットのシステムを外部ユーザ向けに提供するとしており、期待が高まっている。

## 4. ロボティクス関連技術

### (1) ロボット

ロボット／ロボティクスとは

ロボットについて完全に一般性をもった定義は難しいが、本項では、センサ、情報処理、駆動制御といった技術をインテグレーションした知能機械システムをロボットといい、目的に応じてこれらの要素技術をシステム化する技術をロボティクスという。

ものづくりだけでなくサービス分野等、様々な領域の課題解決の手段として期待されるロボット／ロボティクス

日本はものづくり分野を中心にロボットの開発・生産・導入を進めてきた。一方、日本は世界に類を見ないスピードで少子高齢化が進展し、生産年齢人口の減少、医療費や年金等の社会保障費の増大といった、多くの課題を抱えるようになった。このような社会的背景から、ものづくりだけでなくサービス分野等、様々な領域の課題解決の手段としても、ロボットそのものやロボティクスに対する期待が高まってきた。ロボット／ロボティクスは、すべての製品やサービス、その事業化プロセスに組み入れることができ、顧客価値の向上や新たな価値の創出、及び事業者の生産性向上を実現することができる。本項では、AI 等の次世代技術と組み合わせた最新のロボット／ロボティクスを概説する。

最新のロボティクスの事例～①人間機能の拡張(ヒューマンオーグメンテーション)

これまでロボットは、単純な繰り返し作業や危険な場所での作業を人の代わりにする道具として活用されてきたが、こうした人の代替としての機能だけでなく、人の能力(運動、五感、思考)を拡張する手段としてのロボティクスが期待されている(【図表 12】)。人の運動能力を拡張する技術には、人の関節を模した多自由度アクチュエータ<sup>16</sup>、高分子型軽量人工筋肉とその制御理論、バイラテラル制御による汎用ハンドシステム等があり、人と同等のサイズ・重量で人を超える力強さと器用さを実現することが期待される。また、五感の拡張では、低シグナルノイズ比下の音声処理・識別技術、触覚・嗅覚・味覚センサ、及びそれらセンサを融合させた五感センサ、センサフュージョンシステム<sup>17</sup>等の研究開発が、快適性の計測、周辺環境の認識、人の意思や感情の認識を可能とすることが期待されるだろう。最後に、思考能力の拡張では、データ駆動型 AI や知識推論型 AI の高度化・融合、脳型 AI 等の研究開発により、思考のアウトソーシング、ものづくりにおける匠の技術の模倣等の実現が期待される。

<sup>15</sup> 光をキュービットとして用いる量子コンピュータ。最適化問題に特化したイジングマシンと呼ばれる種類に属する。

<sup>16</sup> 従来のアクチュエータの多くは回転もしくは直線運動の 1 自由度である。したがって、装置が多自由度で動作する場合、装置の自由度と同じ個数のアクチュエータが必要になる。アクチュエータ 1 台で多自由度の動きを実現できれば、機構が単純になり、装置を小型・軽量化できるメリットが生まれる。

<sup>17</sup> 複数センサのデータを統合的に処理し、高度な情報を取得するためのシステム。

【図表 12】 人間機能の拡張を支える技術



(出所) 各種資料よりみずほ情報総研作成

最新のロボティクスの事例～②ロボットの協調動作(群ロボット)

また、動作環境を模擬するシミュレータやそれと連携可能な OS・ミドルウェアの標準化、P2P(Point to Point)通信等の技術開発により、個々のロボットがお互いに通信を行うことで協調し、複数のロボットが連携して様々なタスクを行えるようになることも期待されている。

ロボティクスによる新しい価値やサービス創出

以上の様に、人間機能の拡張やロボットの協調動作といった次世代のロボット／ロボティクスは、新しいサービスや価値の創出を可能にする。具体的には、建築・土木の現場作業、物流の仕分け、社会インフラの点検・整備、ドローン・自動運転等による配送の最適化、災害救助や負傷者の発見、少量多品種に対応した製造等の実現が挙げられる。

## (2) 自動運転車・ドローン

自動運転車・ドローンの実現には、様々な技術的課題の解決が必要

自動運転車は、安全性を向上させるだけでなく、過疎地に居住する高齢者の足となる新たなモビリティの創出や、物流の効率化への活用が期待されており、自動車メーカー、サプライヤーのみならず、IT 企業等の新興企業も含めてその実現に向けた研究・開発が行われている。また、ドローンは、従来、人では作業が難しかった場所や、立ち入り不可能な場所等に対して、人の代わりに空からアプローチできることが期待され、比較的廉価な端末の登場によって農業等の幅広い産業における活用に向けた研究・開発が行われている。両者は、陸と空というフィールドの違いはあるものの、モビリティの充実化や人の作業の代替等により、より良い社会を創り出す技術として期待されている。

しかし、上記のような期待に応えていくためには、まだ技術的課題が残されている。本項では、自動運転車・ドローンの中でも、特に注目が集まっている技術について、現状分析と今後必要な技術についての考察を行う。

自己位置推定技術は、十分な正確性・信頼性に加え、より安価に実現するかが重要に

自動運転車・ドローン等の制御には、リアルタイムに変化する他の移動体や障害物等の周辺環境を正しく認識した上で、ベースとなる地図上のどの位置を走行しているかを正確に認知する、高精度な“自己位置推定技術”が必要不可欠である。自動運転車・ドローンは、将来的に、歩行者や他の道路利用者等が混在する環境で利用することも想定されており、数十センチメートルの誤差が大きな事故につながる可能性があるためである。

SLAM 技術の高度化が自動運転車・ドローンの高度な実現の鍵となる

現在、自動運転車・ドローンに利用されている自己位置推定技術の一つに SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) がある。SLAM は、光を利用して物体までの距離を測定するセンサである LiDAR 等を利用し、周囲の物体との距離を測定することで、周囲を取り囲む環境地図の生成と、その環境地図から見たときの自己位置の推定を同時に行う技術である。その特徴は、GPS の電波を受信することが出来ない屋内等の環境においても利用可能な点である。昨今は、比較的小型の LiDAR が台頭しているほか、カメラを利用した SLAM (Visual SLAM 等とも呼ぶ) に関する技術開発が進められている。現状では、画像から距離を推定する Visual SLAM よりも、LiDAR を利用した SLAM (LiDAR SLAM) のほうが、精度が高い。そのため、自動運転車では LiDAR SLAM が多く利用されているが、ドローンでは現状、人が少ない場所での利用が多いことから、LiDAR SLAM に限らず、Visual SLAM や Visual SLAM に GPS を併用した利用も検討されている(【図表 13】)。

一つの技術だけでなく異なる技術の組み合わせがより安全性を高める

自己位置推定の技術は SLAM だけではない。2017 年 8 月 19 日にはみちびき 3 号機が打ち上がり、将来的にはより多くの台数で運用されることが予定されている準天頂衛星を利用した自己位置推定技術も、より精度を増すことが期待できる。今後、自己位置推定技術の正確性、及び信頼性をより高めていくためには、一つの手段による精度向上の追及に加え、異なる技術同士を有機的に組み合わせることで、より簡便かつ安全性の高い手段を検討することも求められるだろう。

【図表 13】 自己位置推定技術の例

名称	LiDAR SLAM	Visual SLAM	GPS	デッドレコニング (慣性航法)
主なセンサ	LiDAR (Light Detection and Ranging)	カメラ (単眼又はステレオ)	GPS や GLONASS、準天頂衛星等	加速度センサ・ジャイロセンサの組み合わせ
精度	高	中	(外部環境で変動)	(上記センサの精度によって変動)
価格	高	低	低	(上記センサの精度によって変動)
現在の主な用途	自動運転車等	ドローン (その他、AR 等)	カーナビ等	旅客機等

(出所) 各種資料をもとにみずほ情報総研作成

通信技術が自動運転車やドローンの活用範囲を広げる

自動運転車・ドローンの活用範囲を広げる上で求められる要素として、通信技術の発達が挙げられる。自動車分野における通信技術の活用は、コネクティッド・カーと呼ばれる等、様々な検討が進められてきた。近年、ドライバーへの情報提供や音楽等の娯楽を中心としたインフォテインメント<sup>18</sup>としての活用だけでなく、700MHz 帯の電波を利用した路車間/車車間/歩車間通信や 5G の実現によって、自動運転の実現にも寄与しつつある。例えば、トラックをロープ等によって物理的に牽引するのではなく、車車間通信を活用した電子牽引によって前方車両が後方車両を牽引する隊列走行の実現に向けた検討が進められている。自動車の制御のための情報として通信技術を利用するためには、例えば前方車両の情報を逐次後方車両に伝達する等、高いリアルタイム性の実現が必要である。また、誤った情報の受信が大きな事故につながる危険性

<sup>18</sup> インフォテインメントとは、Information と Entertainment を組み合わせた言葉であり、自動車に対して情報や娯楽に関する機能を幅広く提供するものを指す。具体的には、カーナビゲーションシステムや音楽や動画等のマルチメディア再生等を指す。

があることから、高い信頼性の実現が求められている(【図表 14】)。

【図表 14】自動車で利用されている通信技術の一例

周波数帯 (名称)	700MHz 帯 (ITS Connect)	2.5GHz 帯	5.8GHz 帯 (DSRC)	携帯電話 ネットワーク (4G・5G 等)
現在の 主な用途	<ul style="list-style-type: none"> <li>路車間／車車間／歩車間通信、</li> <li>ITS Connect 等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電波ビーコン (VICS 情報等)</li> <li>DSSS (安全運転支援システム) 等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ETC/ETC2.0</li> <li>ITS スポット</li> <li>路車間／車車間通信 等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>インフォテインメント 等</li> </ul>

(出所) 各種資料をもとにみずほ情報総研作成

ドローンの活用促進や安全性向上には通信技術の活用が不可欠

一方、ドローンでは、無線操作が一般的であり、遠隔操作のための通信技術が必要不可欠である。現在、より高度な操縦を可能とするために複数の技術の研究・開発が行われており、まず、通信技術を活用して複数台のドローンを自律的に編隊飛行させるための研究開発が挙げられる。一人が複数台のドローンを同時に動かすことが困難である上に、複数のドローンが同時に移動するとなると接触等の危険性が高まることから、通信によってドローン同士が相互に位置情報を共有しあうことで、適切な間隔を保ちながら目的地までの自律飛行を行う等が検討されている。また、中継地点のドローンやロボット等を介して、より遠くのドローンに操縦者からの指令を伝えるマルチホップ中継<sup>19</sup>を利用した制御等の開発も行われている。これらの通信には、より遠方に到達可能な技術が求められることに加え、通信が途切れないようにする信頼性も求められる。情報通信研究機構及び、産業技術総合研究所は、従来の 2.4GHz 帯や 920MHz 帯だけでなく、より遠くに届きやすい特性を持つ 162MHz 帯の電波を利用した研究開発に取り組んでいる<sup>20</sup>。

人と自動車・航空機をつなぐ HMI の重要性が高まる

自動運転車やドローンを安全に使用するための技術についても課題は残る。SAE レベル 2・3 の自動運転では、システムによる対応が困難な場合等、運転者本人による対応も必要である。そのため、システムが対応できない状況をスムーズかつ正確にドライバーに正確に伝える方法の検討が進められている。一方、ドライバーの急な体調変化によって運転が困難になった場合に、システムがドライバーの代わりに対応することが検討されている。この場合、システムがドライバーの状態を認識・理解し、安全に停止(将来的には、路肩等の安全な場所に移動)する技術が求められる。これらの技術は、システム及びドライバーがお互いの状況をコミュニケーションする「HMI (Human Machine Interface)」技術として、ドライバーや他の道路利用者への安全の観点から、その実装に対する社会的な重要度がより高まってきている。

上述の点は、ドローンについても同様の観点が求められる可能性がある。例えば、航空上の条件下を越えないための制御や、操縦者の急な健康状態の変化によって管理不能になった場合、自動で安全に着陸(その場で着陸や、ゴーホーム<sup>21</sup>する等)する対応も今後求められると考えられる。

<sup>19</sup> マルチホップ中継とは、リレー方式でデータを中継(送り受け)することで通信範囲をより広範囲にする技術を指す。

<sup>20</sup> 電波の途切れにくい新しい周波数でドローンの制御飛行に初めて成功 (<https://www.nict.go.jp/press/2017/07/31-2.html>)

<sup>21</sup> ゴーホーム(リターントゥランチ等とも呼ばれる)は、ドローンが離陸した地点に機体を自動で戻す機能であり、安全機能の一つとして実装が進みつつある。

より高い安全の実現に向け、効果の高い技術の利用方法に注目

自動運転車・ドローンは、これまで紹介した技術以外にも、様々な技術で構成されている。その中で、我が国のメーカー、サプライヤー等の関連企業が競争力を維持していくためには、諸外国の動向を踏まえながら我が国が強みとする技術をさらに発展させる“選択と集中”が、今後求められると考えられる。他方、自動運転車・ドローンには、多様な技術があるが故に、その組み合わせによって様々な実現方法が考えられる。そのため、我が国の技術開発の状況だけでなく、諸外国の状況も見ながら、より効果の高い技術を組み合わせることによって自社の競争優位性につなげていくことも重要な視点の一つとなると考えられる。

## 5. セキュリティ関連技術

### (1) IoT に係るセキュリティ対策

マルウェアによる IoT デバイスへの具体的な脅威

2016 年に IoT デバイスを対象としたマルウェア Mirai の出現を契機に、IoT システムのセキュリティ対策の必要性がより強く理解されつつある。本項では、日本政府の IoT に対するセキュリティ対策の検討を示すとともに、日本政府の検討結果であるガイドラインで示された汎用的なセキュリティ対策に基づいて、個々の分野でより具体的な利用を想定した対策検討が求められることを解説する。Mirai は、対象となる IoT 機器一部の機能を利用しており、今後、こうしたタイプのマルウェアのさらなる高度化が考えられる。Mirai の件では、警察庁が以下の 4 つの対策を呼びかけている。①初期設定のユーザ名とパスワードを使わず推測しにくいものに変更する。②IoT 機器を直接インターネットにつなげずファイアウォールなどで遮断したり制限したりする。③機器製造元の情報などを確認してからファームウェア更新などを実施する。④不要ならルータなどの UPnP 機能<sup>22</sup>を無効にする。

政府における IoT セキュリティの取り組み

経済産業省、総務省、IoT 推進コンソーシアムでは、2015 年に IoT セキュリティ対策マニュアルを公表し、IoT 機器の製造者及びサービス提供者だけではなく、ユーザ側での対策や取組も促している。また、2017 年度の経済産業省報告書では、CPS/IoT セキュリティ対応マニュアル（CPS/IoT は、Cyber Physical Systems/ Internet of Things の略称）が検討されている。このマニュアルでは、CPS/IoT セキュリティリスクと対策例をサイバー空間と現実社会が如何に接続し、互いに影響するのかを明確にするために CPS/IoT を構成する以下の 3 つのステップに分類、整理している。①現実社会からサイバー空間に正しく写し取る。②サイバー空間において、データを正しく分析・シミュレーションする。③分析・シミュレーション結果を現実社会で正しく実現する。

3 つのステップに対するセキュリティのリスク

ステップ①は、IoT のエッジデバイスが設置されたフィールドであり、不正なエッジデバイスによる不正なデータの送信やエッジデバイスからセンターに向けたデータ通信の改ざんなどのセキュリティリスクが考えられる。ステップ②は、クラウド等のセンターであり、エッジデバイスから収集してセンターに蓄積したデータの不正利用やデータの破壊などのセキュリティリスクが考えられる。ステップ③は、ステップ①と同様のフィールドであるが、センターからのエッジデバイスの制御があるため、センターの分析結果である制御データの改ざんや盗聴などのセキュリティリスクが考えられる。

<sup>22</sup> Universal Plug and Play 機能の略であり、機器を接続しただけでネットワークへの参加を可能にする機能。

さらに、CPS/IoT セキュリティ対応マニュアルは、CPS/IoT セキュリティリスクと対策例を洗い出す切り口として、NIST (National Institute of Standards and Technology: 米国立標準技術研究所) で示された 5 つの切り口を採用し、どのようなリスクに対しどのような対策が施されるべきかについてまとめている (【図表 15】)。

【図表 15】 CPS/IoT セキュリティ対応マニュアル 5 つの切り口

切り口	要求事項
レジリエンス (高回復力)	災害などが発生した場合でも、CPS/IoT への影響を最小限に抑え、早期に復旧することができること。
リライアビリティ (信頼性)	CPS/IoT の各機能が、要求された機能を与えられた条件のもとで与えられた期間実行できること。
セーフティ	CPS/IoT によって人の生命や健康、資産、周囲の環境を危険にさらす状態にならないこと。
プライバシー	CPS/IoT で扱うデータは、プライバシー保護・個人情報保護を行うこと。各国のプライバシー保護・個人情報保護の法令に従うこと。
サイバーセキュリティ	CPS/IoT が以下の状態を維持すること。 (機密性) 正しい権限を持つユーザだけがデータにアクセスできる (完全性) データが破壊や改ざん、消去されていない (可用性) システムやデータが、必要なときにアクセス可能である

(出所) 経済産業省「CPS/IoT セキュリティ対応マニュアル」

政府におけるセキュリティ検討の傾向

上述の通り、政府や一部の産業分野で検討が進んでいるが、IoT を利用する産業分野は広く、様々な産業分野で利用可能な汎用的な内容が必要となるため、リスクの捉え方や対策検討の必要性を認識するなどの抽象的なセキュリティ対策が検討されている。

今後求められる具体的なセキュリティ対策

しかしながら、産業分野によって IoT のシステム構成や環境及び利用者は様々であり、統一的なセキュリティ対策を検討することは困難である。そのため、各産業分野や具体的な利用シーンに基づいたセキュリティ対策の検討も必要となる。各産業分野において具体的なセキュリティ対策を検討するためには、各々の特性に応じた検討を行う必要があり、そうした特性を把握するうえで必要となる論点を以下に示す。

IoT システムのアーキテクチャやネットワークのポロジ

IoT システムの構成については、各産業において検討中の部分も多く、国際標準化などの規格化を検討している技術分野もある。そのため、具体的な利用シーンにおいて技術分野の検討状況に合わせてセキュリティ対策を検討する必要がある。

IoT システムを構成するプレイヤーや階層構造について

IoT システムは、クラウド等のセンター側と、通信やフォグ、エッジデバイス、及び IoT 機器等のフィールド側に分類でき、これらのシステムが利用者に対して個別に提供される場合や、サービスとして一体で提供される場合がある。個別に提供される場合は、利用者が個々にセキュリティ対策を検討しなければならないが、一体で提供される場合は、利用者はサービスを利用するのみでセキュリティ対策や IoT システムの階層構造を意識せずにサービスを受ける場合もある。個別に提供される場合には、製造者が個別に対策することが求められ、一体で提供される場合はサービス全体を製造者の対策が求められることからセキュリティ対策の検討も大きく異なる。

個別業法や想定利用者と環境

個別業法によって IoT 機器の利用者に対する免許制が導入されている場合や機器確認等の制度が導入されている場合は、これらの制度により一定のセキュリティ対策を実施していることも考えられる。また、このような制度が実施されている分野では、IoT 機器を管理する管理者の存在が想定され、IoT 機器

の設置時の対策だけではなく、運用時においても一定程度の対策実施が可能とも考えられる。一方、インターネットに接続する情報家電等では、前述の Mirai での事例のように、利用者が初期設定を変更するといったセキュリティ対策を実施しない場合も想定され、利用者に対して初期設定を変更するといったセキュリティを考慮した運用を適切に伝えることも重要となる。このように検討する分野に個別業法があるか、また想定する利用者や管理者が存在するかを含めた検討が必要である。

開発期間や利用期間及びセキュリティ対策のコスト

IoT システムの開発期間が短い場合やセキュリティ対策のコストが高いことによって、対策の検討ができない場合も想定される。また、セキュリティ対策は、設計・開発だけではなく、運用・保守も重要であり、製品やサービスのライフサイクル全体を含めた検討が必要である。また、IoT 機器は必ずしも長期の利用だけを想定しておらず、例えばセンサ等については短期的な利用が想定されている等、具体的な利用期間も含めた検討も必要である。

IoT システムの構成物の更新(アップデート)

IoT 機器やシステムに対する最新の攻撃に対抗するためには、Mirai の事例のようにファームウェア更新が重要である。一方、更新するためには、機器認証や通信先の認証及び更新するファームウェア等の完全性の確認も必要である。さらに、IoT 機器に更新機能が存在する場合でも IoT 機器の OS 等の制約でアップデートできない場合も考えられる。

これらの論点を踏まえて、より具体的な IoT 利用分野のセキュリティ検討を行う必要がある。

## (2) ブロックチェーン

ブロックチェーンが目指す非中央集権

Satoshi Nakamoto の論文である Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System によってブロックチェーンが提唱され、現在では様々な分野において利用されている。本項では、ブロックチェーンで利用しているセキュリティ技術の概要を解説する。

非中央集権による分散台帳という発想

ビットコイン等に代表されるブロックチェーン技術は、分散台帳によって特定の権力をもつ機関が存在しない非中央集権を満たす仕組みとして注目されている。ブロックチェーンでは、発生した取引等のすべての出来事を参加者全員(全ノード)が分散台帳として記録、確認することで、非中央集権な環境において、すべての取引を管理することを目指しており、取引等の記録を特定の参加者に集中独占させないことによって安全性を担保している。この様に、参加者の分担によって行われる作業は採掘(マイニング)等であり、Proof of Work (PoW) と呼ばれる仕組みである。

参加者が証明作業を担う Proof of Work

PoW は、偽の情報を防ぐために参加者が一部の証明作業を担うことである。具体的には、ブロックチェーンで必要となる各種の取引(トランザクション)を証明するために参加者がハッシュ値の演算を実施する。PoW の仕組みは、特定の者が過半数より大きな計算能力を得た場合、偽のブロックチェーンを本物と認めさせてしまうことが可能になるため、計算能力が特定の参加者に集中しないことが求められる。しかし、偽のブロックチェーンが発行、流通することによってブロックチェーン自体の価値は低下するため、不正者の不正に得た価値も低下することから不正者の利得も低下する。そのため、偽のブロックチェーンを発行する不正者の利得を考慮すると不正は起こりにくいという議論も存在する。ブロックチェーンでは、非中央集権において分散台帳の管理するために、参加者が証明作業を行うとともに、ブロックチェーン自体の価値を担保するた

め二重利用や改ざん等を防止・検知する技術が前提となっている。また、現在では PoW を改良し、ブロックチェーンの所有割合の高さに応じて新規のブロック生成確率を高めることができる方式 (Proof of Stake) が利用されている。

ブロックチェーンを実現するために必要となる電子署名

加えて、トランザクションには、公開鍵暗技術の電子署名を利用して存在証明も行う。電子署名は、特定のデータに対して電子的な署名を行う技術であり、データが改ざんされていないこと、及び署名者本人が確かにそのデータに署名をしたこと(意思)が確認できる技術であり、署名鍵を持つ本人でないと署名が生成できない。ビットコインでは、ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm) を利用している。

ブロックチェーンでの署名鍵生成とPKIの違い

一般的に電子署名を利用する場合は、PKI (Public Key Infrastructure: 公開鍵暗号基盤) の認証局が署名者本人を確認し、署名鍵を発行することで署名者と署名鍵を紐付けるが、ブロックチェーンでは、特定の権力をもつ機関が存在しない非中央集権を目指すため、利用者は第三者機関を利用せず、自らが署名鍵(正確には署名鍵と検証鍵の鍵ペア)を任意に作成する。そのため、利用者は身元を明らかにせず取引が可能のため違法性の高い取引に利用される場合もある(ランサムウェアの身代金等の受取など)。

スマートコントラクトへの広がりと今後の検討課題

以上のように、ブロックチェーンのセキュリティ技術は、既存のセキュリティ技術と同じであるが、ブロックチェーンの革新は、セキュリティ技術の利用方法や仕組みではなく、特定の権限をもつ機関を必要とせず、参加者が協力し、その価値を維持・交換することにある。また、ブロックチェーンの利用については、Hyperledger Fabric<sup>23</sup>のように特定のノードの役割(ポリシーチェックとブロックチェーンの保存を行う役割の Peer、ブロックの順序を決定し生成を行う役割の Orderer 等)を厳密に定めるサービスや、Proof of Existence<sup>24</sup>など外部の情報リソースと接続し、存在証明を行うサービスにも拡大しているため、さらにセキュリティ技術の応用も拡大すると考えられる。例えば、外部の情報リソースと接続し、為替変動に応じた取引を自動化するスマートコントラクト等を想定する場合には、変動する為替データをブロックチェーンが参照可能な状態で取り込まないと為替変動に応じた取引が正当な処理であったかと検証することができない。同様に損害保険業務において自動車の運転情報を把握する場合や、中古車の価格決定については日々変動する走行距離を参照し、検証する必要がある。このように外部の情報リソースをどのように参照、またはブロックチェーンのシステムに取り込むのかについては、今後の検討が必要である。

## 6. おわりに

インテリジェント化とサイバーとフィジカルの融合の深化がデジタルテクノロジーの特徴

本章で取り上げたデジタルテクノロジーは、ICT の活用領域を、従来の延長線には止まらない新たな領域へ広げている。IoT 関連技術の進展は、ICT 活用の対象をモノ、ヒト、サービスに拡張させ、あらゆる分野のデジタル化や新たなビジネスモデルの創出の技術基盤となりつつある。AI は、学習に必要なデータの飛躍的な増大とアルゴリズムの高度化により様々な分野におけるインテリジェント化を加速させている。さらに、IoT と AI の組合せ等によるハードウェアのインテリジェント化は、自動運転車やドローンによる配送といった、10年前にはSF的であった技術を現実化させつつある。

<sup>23</sup> オープンソースコミュニティで開発されているブロックチェーンの基盤の一つ。

<sup>24</sup> データのハッシュ値をブロックチェーンに書き込むことでデータの存在を証明する。

ハードウェア・デバイスからサービスの各所で AI の実装が進展

こうしたデジタルテクノロジーは、あらゆる領域でのインテリジェント化を図り、サイバーとフィジカルとの融合を深化させる技術と捉えることができる。インテリジェント化の中核技術である AI は、ディープラーニング等の技術開発により画像や音声認識の大幅な性能向上を実現した。今後、更なる技術開発により言語理解、行動判断、ロボティクスへの応用等が進められ、ハードウェア・デバイスからサービスの各所で AI の実装が加速すると見込まれる。

デジタル・ツインの実用化や融合深化させるインターフェイス技術の進展が注目される

IoT 関連技術によるサイバーとフィジカルとの融合深化は、現実の出来事と同じものをコンピュータ上にリアルタイムに表現し、産業システムや社会システムを動的最適化を実現する「デジタル・ツイン」<sup>25</sup>と呼ばれる仕組の活用も本格化させると考えられる。また、ウェアラブル機器や VR/AR/MR 等のインターフェイス技術の技術進展や活用もサイバーとフィジカルとの融合を深化させると考えられる。ヒトとサイバーとの一体化に着目したオーグメンテッド・ヒューマンと称される技術による人間の能力拡張に関する研究も本格化しており、今後の進展が注目される。

複雑化するシステムや広範囲なデバイスに対するセキュリティ確保のための技術開発が必要

デジタルテクノロジーの進展に伴い取扱う情報の範囲や用途が大幅に広がることから、従来にも増してセキュリティの重要性が高まる。サイバーとフィジカルとの融合深化に伴い、システムの複雑性が増大すると見込まれる。そのため、設計の段階で安全を作りこむセーフティ設計に加え、脅威を想定した対策を取り入れたセキュリティ設計が必要となっている。また、セキュリティ確保の対象が、コンピュータやネットワークのみならず、自動車やロボット、ヘルスケア機器、スマート家電やセンサ等のハードウェアに広がるため、広範囲なハードウェア・デバイスのセキュリティ確保のための技術開発や対策強化が期待される。

デジタルテクノロジーの担い手となる人材育成・確保は喫緊の課題

デジタルテクノロジーの進展には、その中核となる先端技術の研究開発を担う人材やハードウェア、ソフトウェア、ネットワーク、AI、セキュリティ等の先端技術の社会実装を担う人材が必要となる。さらには技術的専門性を理解しながらその適用領域の知識を持ち、デジタルテクノロジーを使いこなす人材も必要となる。経済産業省の調査によれば、ビッグデータ、IoT、AI に携わる人材不足数は 2020 年には 4.8 万人規模に拡大すると推計されている。本章で見てきた通り、デジタルテクノロジーが今後多様かつ高度に発展を遂げることが予想される中で、それを牽引する人材の確保は急務の課題となっている。

みずほ情報総研

経営・IT コンサルティング部

河野浩二／稲垣祐一郎／阿部一郎／武井康浩／中志津馬

阿部一郎／浅海和雄／西村和真／小川博久

情報通信研究部

前川秀正／永田毅

koji.kohno@mizuho-ir.co.jp

<sup>25</sup> デジタル・ツインとは実空間のシステムや出来事や状態をデジタル上に双子(ツイン)のように模倣し、シミュレーション等を用いて実空間の管理を高度化する仕組を指す。製造業のデジタル化を進める GE では産業機器を対象としたデジタル・ツインを保守・メンテナンスに活用している。

©2017 株式会社みずほ銀行

本資料は情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引の勧誘を目的としたものではありません。本資料は、弊行が信頼に足り且つ正確であると判断した情報に基づき作成されておりますが、弊行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しては、貴社ご自身の判断にてなされますよう、また必要な場合は、弁護士、会計士、税理士等にご相談のうえお取扱い下さいますようお願い申し上げます。

本資料の一部または全部を、①複写、写真複写、あるいはその他如何なる手段において複製すること、②弊行の書面による許可なくして再配布することを禁じます。