

3.2 CPS/IoT/REALITY 2.0

【総論】

CPS/IoT/REALITY 2.0 は、社会にあるモノ、ヒト、コトを、サイバー空間を通じて利用可能とし、それらを組み合わせることで、新たなサービスや社会システムの構築を可能とする研究開発領域である。

近年のデバイス技術やデータ処理技術、通信技術などの発展とともに、ネットワークに接続される機器は増大し、2025 年にその数は 500 億端末に達するとの見込みもある。

パソコンや携帯端末だけでなく、電化製品、自動車、産業用機械、医療機器など物理的なモノがインターネットに接続され、サイバー空間と物理世界との融合が進展している。

こうした状況の下、近年、Cyber Physical Systems (CPS) や Internet of Things (IoT) といった技術が生まれ、社会への普及拡大が進むとともに、それによって産業構造や社会の変革が起こりつつある（2 章コラム参照）。

CPS は 2000 年代後半から、米国においてナショナルワーキンググループが幾度も開かれるなど、その効果が大きく注目されるようになってきた。2008 年には、CPS Steering Group によって“Cyber-Physical Systems Executive Summary”がとりまとめられ、その中で産業や国におよぼす影響の重大性へ言及がされた。

CPS は物理世界のモノから得られるデータをもとに、コンピューティングによる処理と物理的な制御を統合し、物理的なモノの制御最適化を行おうという技術である。小さな組み込みシステムから、自動車、航空機、さらには国レベルのインフラまで適用される。また、一連の技術の対象としては人間から得られるデータも含まれる。

一方、IoT は、もともとは 1990 年代、サプライチェーンにおける RFID の新しいアイディアを、インターネットと結びつけてつけられた言葉と言われる。現在では CPS と同様の技術として扱われることが多いと考えられる。

電子機器、自動車などモノの状況をセンサーによってセンシングし、インターネットを介してそれらのデータを集約、分析、その結果をもとにモノやそれらを含むシステムの最適化を図ろうという技術である。

こうした CPS や IoT 技術を広く産業や社会へ適用し、新たな価値を生み出そうという大きな動きが世界で進んでいる。

米国では GE 社が Industrial Internet を掲げ、航空機や鉄道、産業機器、電力システム等の運用状況のデータを元に、それらの最適化を図るサービスを推進している。GE 社では Industrial Internet によってこれらの運用効率を 1% 改善するだけで、年間数十億ドル規模の利益を生み出すと試算している¹⁾。さらに、同社が中心となって Industrial Internet Consortium (IIC) を設立し、生産システムや産業用機器をインターネットで接続することにより産業の効率化を図るために、その標準化を提唱している。

ドイツでは産業界、国、アカデミアの連携による巨大プロジェクト、Industrie 4.0 を推進し、産業の高度化を進めている。この中で、CPS、IoT の活用による業務プロセスの改革、工場間の連携、製造業の効率化やコスト削減 / 市場化への時間短縮等を目指している²⁾。

こうした流れを背景に日本においても 2015 年に“IoT 推進コンソーシアム”が設立さ

れた。このコンソーシアムでは、産学官が連携し、IoT 技術の開発や新たなビジネスの創出に向けた実証や、標準化の推進、規制改革の提言を行うことを目的としている。

このように CPS、IoT 技術の社会への浸透がますます加速している。

これまで実体社会はあくまで物理世界であり、サイバー空間は物理世界に情報をもたらすコンピュータ群であった。ところが、近年の CPS、IoT といった情報科学技術の進展に伴い、上述したようにビジネスや社会活動において、サイバー空間と物理世界が一体となり切り離せないものになりつつある。

こうした状況が進んでいくことで、近い将来、サイバー空間と物理世界が融合一体化した世界が生まれてくるだろう。JST-CRDS ではこうした世界を REALITY 2.0 と呼んでいる（図 3-2-1）。

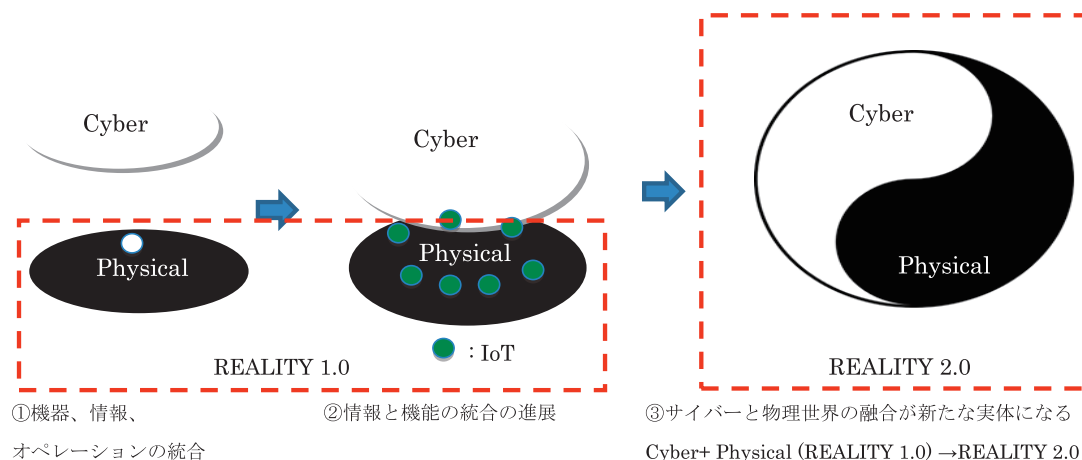


図 3-2-1. REALITY 1.0 から REALITY 2.0 の世界への移行

REALITY 2.0 の世界では、モノやヒトさらに実体を持たないさまざまなコトがサイバー空間を通じて相互につながりあい、関係を持つてくる。また、それらが持つ多様な要素、機能はネットワークを介して利用可能なコンポーネントとすることが可能となる（一種の API として利用可能な状態になる）。このため、モノ・ヒト・コトのコンポーネントを適宜組み合わせることによって、新たなサービスの創出やエコシステムを構築することが可能となる。ここで、複数のコンポーネントを組み合わせ、複合的なサービスを構成するための一種のプログラムを「実体定義レンズ」と呼ぶ。これを通じてモノ・ヒト・コトの機能と呼び出す事が可能となる。さらに、実体定義レンズによって動的に構成される機能のエコシステムで構成される社会をここでは、Software Defined Society（ソフトウェアデファインドソサエティー）と呼ぶ。

本区分では、現在、社会への普及、進展が進む CPS、IoT の研究開発領域を俯瞰するとともに、それらが進展した先の世界である REALITY 2.0 にむけて必要となる研究開発や政策的課題についてまとめる。

具体的には、CPS/IoT/REALITY 2.0 を構成する物理的なモノ・ヒト・コトとサイバー空間とのインターフェース（3.2.1）、ネットワークとデータ処理の基本的な枠組みとなるアーキテクチャー（3.2.2）、モノ・ヒト・コトのサービス化技術（3.2.3）、さらに CPS/

IoT/REALITY 2.0 を構成するプラットフォーム（3.2.4）から社会実装（社会デザイン）（3.2.5）までをまとめた。

これらの俯瞰図と各領域の概要は以下のとおりである（図 3-2-2）。

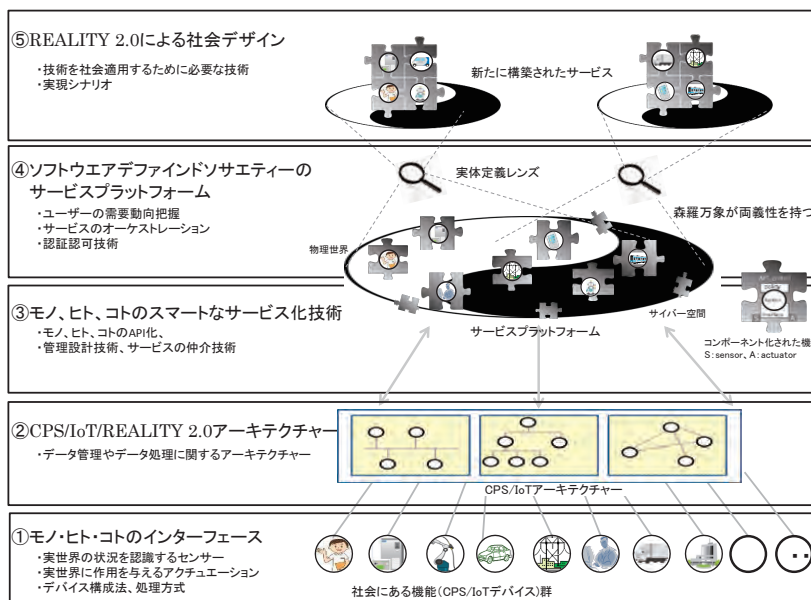


図 3-2-2. CPS/IoT/REALITY 2.0 俯瞰図

① モノ・ヒト・コトのインターフェース

CPS/IoT/REALITY 2.0 を支える技術であり、実世界を構成するモノ・ヒト・コトとサイバー空間を接続することを目的とする。実世界の状況を認識するセンサーや作用を与えるアクチュエーション技術、デバイスの構成法や処理方式等の広範な研究開発領域である。

② CPS/IoT/REALITY 2.0 アーキテクチャー

本領域では、上位のレイヤーを支えるデータ基盤技術を確認することを目的とする。実世界から集約される多様なデータを収集し、それらを多様なアプリケーションで活用できるようにするためのデータ管理やデータ処理等に関するアーキテクチャーが対象である。

③ モノ・ヒト・コトのスマートなサービス化技術

ここではある機能をほかの機能や実態から呼び出せるようにすることを「サービス化」と呼ぶ。

情報システムが提供するサービスに加えて、モノ・ヒト・コトなど物理世界や社会活動全体をサービスとして提供、利用可能とするための技術の確立とそれを支援する基盤構築を目指している。REALITY 2.0 実現に向けて、Web サービスにおけるサービス構築技術等を物理世界に適用していく事が一つの方法と考えられる。

サイバーの世界ではサービス化やその利用のための技術開発が進んでいるので、先行事例として Web サービスなどが参考となる。

④ ソフトウェアファインドソサエティーのサービスプラットフォーム

この領域は、サービス構築の際に、必要な機能を利用するためのサービスプラットフォーム構築に関する技術である。

必要な機能の検索・発見や、価値の再配分、ユーザーの需要動向把握、サービスのオーケストレーションや認証認可技術やサービスのレベルを保証する技術、現在のクラウド等のサービスプラットフォームに物理的なモノやヒト等が入ってきた時に必要となる技術も含む。

⑤ REALITY 2.0 による社会デザイン

この領域では CPS/IoT/REALITY 2.0 を社会に適用するに当たって、その応用事例や適用するに当たっての技術的、政策的な課題について取り上げる。技術を社会適用するために必要となる技術に加えて、実現に向けたシナリオについても検討が必要である。

この分野において、諸外国では IIC や Industrie 4.0 等において、システム全体や企業、業界横断的な取り組みが進められている。そこで使われるアーキテクチャーの設計や基本ソフトウェアの整備が進んでいる。

わが国では、企業個別の取り組みはあるものの、企業や業界横断的な設計になっておらず、そのため国際的な標準化が進めづらいという弱みがある。その一方で、各種産業用ロボットや、建築機器の運用管理システム、工場の最適化システム等の個別企業における先進的な技術があり、その実用化も既に広く行われている。

2016 年から開始された第 5 期科学技術基本計画においては、超スマート社会の実現に向けて、システムの高度化、複数システムの連携協調を果たすための共通的プラットフォームの構築が、産学官、関係府省連携で進められようとしている。2015 年には IoT コンソーシアム、2016 年には AIP センターの設立など産業間、技術間の連携や基礎から応用までの研究開発が進められようとしている。こうした動きによって、個別技術の高度化や企業、業界横断的な取り組みの推進が期待される。

【参考文献】

- 1) GE 社, “インダストリアル・インターネット”,
<http://www.ge.com/jp/industrial-internet> (2016 年 12 月 20 日アクセス)
- 2) 科学技術振興機構研究開発戦略センター, “戦略プロポザル
「次世代ものづくり ～高付加価値を生む新しい製造業のプラットフォーム創出に向けて～」”,
<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2015/SP/CRDS-FY2015-SP-01.pdf> (2016 年 12 月 20 日アクセス)
- 3) 科学技術振興機構研究開発戦略センター, “情報科学技術がもたらす社会変革への展望- REALITY 2.0 -の世界のもたらす革新”,
<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2015/XR/CRDS-FY2015-XR-05.pdf> (2016 年 12 月 20 日アクセス)

3.2.1 モノ・ヒト・コトのインターフェース

（1）研究開発領域の簡潔な説明

IoT/CPS/REALITY 2.0 を支える技術として実世界を構成するモノ・ヒト・コトの状況を認識するセンサー技術とモノ・ヒト・コトに情報や作用を与えるアクチュエーション技術、実世界との接続のための領域である。デバイスそのものの構成法や、その認識処理方式、作用や表現の方式等に関わる広範な研究開発領域である。ここでは、実世界との境界（エッジ）にあって REALITY 2.0 を実現する情報流の源であり作用点としての観点から関連する技術、動向と課題を概観する。

（2）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

IoT/CPS 技術をベースに REALITY 2.0 を社会に実現するには、実世界と接し、そこからさまざまな状況を認識し情報を取得するセンシング、実世界に作用を与えるアクチュエーションといった技術から、得られた情報が構成するビッグデータを大量の計算機資源で分析するクラウド技術をさまざまな情報通信技術でつなげるといった総合的な情報技術が必要とされる。モノ・ヒト・コトのインターフェースではこれを踏まえて、センサー技術、アクチュエーション技術のみにとどまらず、実世界との境界でつなげて情報を流通するための技術についても言及する。具体的なつなげる技術としては、情報通信技術をはじめとして、長期稼動を実現するための電力供給技術、必要に応じて機器や端末が自律的に移動する技術が含まれると考える。

既存のセンシング機器は MEMS 技術を用いた小型化、省電力化、さらにスマート化が推進されている。自動車・船舶が積んでいたジャイロスコープは MEMS によりスマートフォンに内蔵され、GPS 受信機や Wi-Fi 通信機器は、省電力化が進められることで、携帯端末上でこれら個々の機能のオンオフを気にする必要性が低下している。近年では FOG (Fiber Optic Gyro: 光学ジャイロ) を用いたジャイロスコープの精度がさらに向上し、屋内測位、自動運転などで注目されている¹⁾。ノーマリーオフコンピューティングは汎用プロセッサよりもむしろセンサーのような、特定のイベントを待機するために停止することが許されないような状況において効果的な試みであるといえる²⁾。さらに今後注目すべきはセンサーのスマート化である。センサーにより獲得された生のデータ量は目的とする情報にまで認識・分析されれば大幅に縮小することができる。また、認識された情報をその場で活用できる機会も増える。データ量の軽減のみでなく、カメラ映像からヒトのみを抽出し、映像的に匿名化処理を施す、人流状況の統計的処理をその場で実施するなどプライバシーに配慮した試みも実用化段階にきている³⁾。このように実世界との境界（エッジ）での処理をスマート化していく流れは今後飛躍的に進歩することが見込まれる。スマート化はセンサーに処理用プロセッサを追加する手法と、複数のセンサーを複合的に処理する手法で実現される。エッジにおけるスマートなセンシングは、これまでのクラウドでの分析処理に頼る流れと共存していくと考えられる。クラウドに情報を集約せず実世界にてそのまま情報を活用する流れとクラウドに情報を集約し、そこで分析処理後に活用する流れの二つのコンピューティングが共存していくといえる。前者をエッジコンピューティングといい、その重要性を極大化しすべてをエッジで処理する流れをエッジヘビーコンピューティングと呼ぶ。

ティングと称されることもある⁴⁾。

アクチュエーション技術は実世界に影響を与える作用を実現するものであり、携帯端末での情報の提示、街中でのデジタルサイネージ、Haptic Engine などの触覚生成機器⁵⁾、没入型の VR 機器を用いた入出力一体型インターフェースなどがある。東京オリンピック・パラリンピックに向けて、多言語への対応やバリアフリーでの表現など、よりグローバルでユニバーサルな方式が注目されている⁶⁾。さらに、近年ではセンシングした結果を解釈してユーザーの行動変容をいかにして起こすかが課題となっており、より健康的、省エネルギー、省資源の行動などに向かわせていくためのアクチュエーションにも注目が集まっている⁷⁾。

つなげる技術である情報通信技術として、BLE (Bluetooth Low Energy) や 920MHz 帯を活用する近距離省電力で小規模端末間通信を対象とするものと、次世代携帯電話網である 5G が注目されている。BLE は今後の成長が期待されるウェアラブル機器の標準的通信規格の中に測位やジオフェンスの機能を盛り込み、特に O2O (Online to Offline) ビジネスの推進力として注目されている⁸⁾。その一方で携帯電話網技術の 5G はもはや単一の技術ではなく LTE (Long Term Evolution) で導入された OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 方式の進化、Massive MIMO (Multi-Input Multi-Output) 方式の導入、さらには極小基地局の導入など数多くの技術の集合体の総称であると考えられる。特に極小基地局を活用した例ではモバイルエッジコンピューティングのインフラとしての活用が重要である⁹⁾。

つなげる技術に必須の要素として電力供給をいかに実装するかは常に課題である。高容量二次電池であるリチウムイオン電池、加工成形に利のあるリチウムポリマー電池は成熟期にあり、今後は ELDC (Electric double-layer capacitor: 電気二重層キャパシター) やリチウムイオンキャパシターなど高効率キャパシターの実用化のための開発、IoT 機器に特化したエネルギーハーベスト技術の開発に注目が集まっている¹⁰⁾。前述の BLE を測位インフラとして活用する場合に光発電素子により稼働させるプロトタイプがでている¹¹⁾。ここでは太陽光に適したアモルファスだけでなく、屋内光に特化した色素増感方式でのエネルギー変換効率の向上と素子の長寿命化に注力されている。現状ではまだ、室内光での電池稼働期間とハーベスター素子寿命が拮抗する状況である。環境発電技術では光発電以外に、音や振動による発電の技術、レクテナによる電磁波や近距離での無線給電技術も実用間近である。

IoT 機器は環境に設置するモノと移動するモノに大別される。環境に設置するモノとしては、新たに設置する以外に既に設置されている設備を IoT 化する試みが、ビジネスモデルを構築しやすく参入障壁も低い。照明設備や空調設備のインテリジェント化やビルの出入り口、エレベーターなどのセキュリティー設備の高度化、ライフラインのスマートメーター化によるエネルギーマネジメントの導入等によって、モノのサービス化、ビジネス化につなげることが可能である¹²⁾。

移動するモノはヒトとともに移動する携帯端末やウェアラブル端末と、それ自身が自律的に移動する移動体に分けられる。ウェアラブル端末は新たな素材を開発することによって衣服や靴をインテリジェント化する医療系、フィットネス系の試みが注目されている¹³⁾。課題は電力供給、部品の保守、製品寿命などがあげられる。移動体の IoT は新しい分野

であり、ドローン等 UAV（Unmanned Aerial Vehicle）やロボットの普及により近年急激に注目を集めている。既に普及した掃除ロボットの移動はセンサーを活用し SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）を実現しつつさらに進歩している。掃除以外の用途として警備、監視など十分な可能性をもっているが、ヒューマノイドの移動は多くの場合、コストや機構の問題が多く残念ながら限定的である。ドローンは航続可能距離 / 時間の課題が常にあるが、今後の活用を考えると VR 機器を活用した操縦性の向上や¹⁴⁾、さらにその先の自動運転技術による自律移動の実現が重要だと考えられる。そのためには GPS を越えたセンチメートル級の精度での自位置の特定技術と、それを実現もしくは補強するためのリアルタイムの画像認識技術が必須となる。

（3）注目動向

REALITY 2.0 の世界では、サイバー世界とリアル世界がシームレスに融合している。その実現時点では、モノ・ヒト・コトはサイバー世界でもリアル世界でもコンポーネント化され、「実体定義レンズ」により検索・統合され、サービスとして提供されることとなる。

このような世界が実現するには、まずさまざまなことがデジタル化されるデジタル・トランスフォーメーションが必要である。センサーの活用、技術の進展等により、かつてはデジタル化が難しく、「匠の技」が必要であった分野において、それがデジタル化されること、つまりはセンサー、データ、分析という、IoT が活用されることにより、匠の技が ICT により実現されるという事例も出てきている。酒造りという極めてアナログで匠の技を要する分野であっても、デジタル化は進展している¹⁵⁾。

また、生産技術をデータにより見える化することで、生産性を向上させる試みも行われている。具体的に、日立製作所の例では、鉄道車両の組み立てに IoT を導入、ねじ締めを使うトルクレンチの締め付け力のデータを測定し、タブレットに送信、タブレット画面では、締め付けた箇所がそれぞれ適正な力かどうか緑、赤などの色で示されるようになっている。海外工場では熟練工といった「匠」がいないため、それをデジタル化、システム化することで、どこで誰が作業を行っても品質を維持することを目指したものとなっている¹⁶⁾。さまざまなモノ・ヒト・コトに関わることがデジタル化されるにつれ、サイバー世界とリアル世界とのインターフェースも変わりつつある。従来はリアル世界からサイバー世界への入り口は基本的にはパソコン（PC）であった。ユーザーはログインすることで、PC の世界、つまりはサイバー世界の住人となる。近年においては、PC に加えて、スマートフォンやタブレットの普及により、屋内のみならずモバイル環境でサイバー世界へのアクセスが実現した。

こうしたサイバー世界とリアル世界の新たなインターフェースとして音声が目玉され始めてきている。この潮流の起爆点とみられているのは Amazon が 2014 年に出した Amazon Echo（アマゾン エコー）である。Amazon Echo は音声により家電等の制御を行う家庭内のハブとなるとともに、Amazon Echo に音声で対話・注文することによって Amazon への注文ができるという、電子商取引の入り口ともなっている。販売は好調であり、2016 年 4 月時点で、300 万台程度販売されたと報じられている¹⁷⁾。

こうした音声のインターフェース化は Amazon に限らない。マイクロソフトは

Windows 10 に Cortana という音声認識・対話機能や、機能強化された音声・テキスト・動画による通信を可能とするスカイプや、スカイプ中で利用できるチャットボット Microsoft Bot を標準搭載する。また、日本語で女子高生の役割で会話するチャットボットりんなの提供をしている¹⁸⁾。こうした動向は、従来通信におけるコンテンツ（通信の中身）の一つであった音声、ヒトとモノ、あるいはサイバー世界とリアル世界のインターフェースとなる動きということができる。音声での会話はヒトにとってコマンド入力やテキスト入力よりもはるかに自然で容易なことである。音声インターフェースの隆盛により、二つの世界の垣根は低くなり、双方向的に融合がさらに進んでいくとみることができる。

モノ・ヒト・コトとの接点となり、情報化の入り口となるセンサーの分野では米国 Fairchild Semiconductors 社を始めとする MEMS 業界が中心となり、2013 年に産学連携組織 Trillion Sensors Summit を立ち上げた¹⁹⁾。

従来、センシングが不可能と思われていた分野もその対象になりはじめており、新たなアプローチも登場している。以下に例を挙げる。

- ・センサーは物理センサーと化学センサーに大別できる。物理センサーが単一の物理量を測定するのに対し、化学量を測定する化学センサーは化学物質を複数種類の化学物質として受容し、パターン認知、部分認知するため、メカニズムが複雑となり実用化にハードルがあった。しかし、近年、味覚といった分野にもセンシング技術が確立し、実用化が進んでいる²⁰⁾。

- ・血糖値測定方法として現在は採血による測定が主である。これに対してグルコースの量に応じて光る特性を持つ Fluorescent microbeads と呼ばれる埋め込み装置を皮下血管に注入することで、採血することなく、光量により血糖値をリアルタイムで把握可能な技術も登場している²¹⁾。

- ・映像のデジタル化と画像解析技術の発達には測定対象に特別な装置を設置することなく、動線分析等を可能にし、生産現場における効率化に貢献している²²⁾。

ヒトとサイバー空間とのインターフェースの事例として、Apple が自社初のウェアラブル端末である Apple Watch をリリースした際に ResearchKit の提供を開始している。これはスマートフォンやウェアラブル端末内蔵のセンサーによってユーザーの生理データを収集し学術研究に活用できるサービスである²³⁾。

また、Proteus Digital Health 社は薬剤の服用を正確に把握・管理できるデジタル錠剤システムを提供しており、医薬品の錠剤に小型のセンサーを結合させ、この錠剤を服用すると、胃液と反応し、センサーがシグナルを発し、このシグナルを患者の体表面に張り付けたパッチ型の小型検出器で検出するという仕組みを持つ²⁴⁾。

日本でも PLR (Personal Life Repository: 個人生活記録) にもとづいた個人の医療・介護記録を自身で管理し、流通の制御を個人にゆだねる分散 PDS (Decentralized Personal Data Store) の仕組みの実証が始まっている²⁵⁾。高齢化が進む社会でのパーソナルデータ活用の推進の意味でも注目すべき試みである。

コトのインターフェースとして、金融の分野では、ウェアラブル端末を通じた決済サービスの展開が進んでいる。2016 年リオデジャネイロで開催されたオリンピックにおいて VISA は指輪型ウェアラブル端末を Team VISA のメンバーに提供。NFC (Near Field

Communication) 方式で決済ターミナルの近くで指輪をかざすだけで、支払いを可能にした²⁶⁾。

Apple は Apple Pay、Google は Android Pay、Samsung は Samsung Pay など自社のウェアラブル/スマートフォン端末決済システムを運営している。2016 年秋から Apple はこれらの中では初めて日本国内の決済サービスとして JR 系の交通サービスに参入している。もともと国内サービスが利用している FeliCa は Type F として NFC 規格に加わったが、従来の NFC Type A/B とは別の実装が必要とされ、参入の障壁となってきた。早ければ 2017 年からモバイル業界団体の GSMA 規格認定の NFC 搭載端末として Type F の実装が義務づけられるようになる見込みである²⁷⁾。

自動車保険の分野でもセンシングを活用し、新たなサービスが開発されている。あいおいニッセイ同和損害保険は、トヨタ自動車のテレマティクスサービス T-Connect のナビから、スマートフォン等を通じて取得した車両運行情報を、走行距離に基づいた保険料の算出や安全運転アドバイスなどのサービスに活用している²⁸⁾。

いまや携帯電話/スマートフォンは情報インフラの一つであり、どのようなユーザーがどこで何をしているかというコトの情報化には欠かせない仕組みである。ドコモ地図アプリやヤフー防災アプリのようにユーザー数の多いものは、都市ごとの人流移動の把握に有効であることが知られており²⁹⁾、神戸市とドコモは徘徊者等の見守り実証を携帯の BLE 機構を用いて実施している³⁰⁾。

実世界の環境情報やモノを情報化する通常のセンサーのみならず、ウェブ上に流れている情報や、オープンデータを加工してリアルタイムに取得する技術として Sensorize（センサー化）が注目されている。慶應義塾大学が藤沢市と提携した試み³¹⁾や、SNS や掲示板などから商品や企業に対する日々変化する評価や評判を自動的に収集するシステムが注目されている。

（4）科学技術的課題

ヒトを生物という観点からより正確にセンシングする場合、一般的にインプラント型（侵襲的）が有効である。膨大な情報を持つ脳を理解するニューロサイエンスにおけるブレインマシンインターフェース（BMI）の研究においては得られる情報量は非侵襲的な方法と比較して著しく大きい。しかし、生体への影響の他、ユーザー側の心理的違和感等の実用化に向けたハードルが存在する³²⁾。

ヒトの情感など生体情報を認識するにはウェアラブル機器のさらなる進化が必須である。衣類などに新たなセンシング、アクチュエーションの機能を持たせていくためには耐久性や、給電機構、清掃・洗浄への対応といった課題がある。

映像情報は高精細化が着実に進展しており、特に動画においては、カメラ等から生じた膨大なデータを全てクラウド等センターに伝送することは非効率であり、どこでどう必要な解析処理を実施するかが課題となる。ここではエッジコンピューティングの可能性を見いだすことができる。

モノ・ヒト・コトのインターフェースおよびそれらを通じたサービス等の社会への導入を考えた場合、既に存在する機器や設備を新たにセンサーに対応したものに置き換えていくだけでは、その進展が遅くなる事が考えられる。特に耐久消費財など買い替えまでの時

間が長いため、技術の進歩とその社会への実装に時間的な隔たりが生まれてしまう。REALITY 2.0 を技術の進展と共に社会に進展させていくためには、既にあるモノを置き換えるだけでなく、それらにセンシングやコンピューティングといった機能を付加することで、物理的なモノ・ヒト・コトをネットワーク上につないでいく、インターフェース化するといった発想も必要となる。

（5）政策的課題

REALITY 2.0 の実現は個々人が生み出す情報を第三者に提供し、活用することに対する意義についての理解を抜きにしては語れない。この点では2013年にJR 東日本のICカード・Suica の情報が6月末に販売開始されたが、利用者側からの個人情報保護の観点での指摘が同社に多数寄せられたことから、わずか一カ月後に販売中止にいたったことは記憶に新しい³³⁾。個人情報とは、個人を特定できる情報を指す。Suica の例では販売するデータに明確には個人情報が入っていなかったが、利用者からの理解を得る事はできなかった。

プライバシーや個人情報の保護の観点からは、保護する対象がこれまでのように申込書等に記入し、個人が提供を意識しているもの以外に、センシングを通じて無意識のうちに多種多様なデータが生産、収集されることになる。これらのことから、個人はデータの活用について深い理解をしないままに、規約に同意することが考えられる。そのことから、情報の利用についてサービス開始時にパーミッションを得るだけではなく、サービス利用中においても利用者からの問い合わせに対して適正な説明が可能な仕組みづくりが求められるだろう。

（6）キーワード

エッジコンピューティング、スマートセンサー、エネルギーハーベスト、BMI、情感の認識と生成 / 表現、行動変容、パーソナルデータ / 個人情報の保護 / 活用

（7）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	↑	文部科学省/JST、理化学研究所において、AI とともに IoT を推進する AIP、ERATO など基礎研究へのサポートが始まりつつある。
	応用研究・開発	○	→	自動運転や IoT に関連する事業、サービスの進展に合わせ、必要とされる技術の研究が発展。改正個人情報保護法の発効も追い風になるか。
米国	基礎研究	◎	→	Google やスタートアップ等、革新的なセンサー技術の研究開発は堅調。
	応用研究・開発	◎	↑	自動運転の実用化や、GE の Industrial Internet の進行、Qualcomm の AllSeen Alliance、Uber/AirBnB などの新規サービスの隆盛などとどまるところを知らない。
欧州	基礎研究	◎	↑	Connected Car 実現を目指し独仏の自動車メーカーが中心にセンサーの低価格化を推進。
	応用研究・開発	○	→	独 Siemens/Bosch/SAP の Industry4.0、Smart City を標榜するスペインの各市プロジェクトがあるも、個人情報保護の重視政策による圧迫。

中国	基礎研究	△	→	新規技術開発の動きは見受けられない。
	応用研究・開発	○	↑	Huawei などのメーカーとサービス事業者が活発な動き。個人情報配慮が軽い ため実証が容易。
韓国	基礎研究	○	→	Samsung と LG を中心にディスプレイ技術とモバイル/ウェアラブル端末部材 を中心に技術開発が活発。
	応用研究・開発	◎	→	SK テレコム等の通信キャリアと Samsung の連携、決済サービスの進展、ヒュ ンダイ等自動車メーカーの実証実験。

（注1） フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

（注2） 現状 ※わが国の現状を基準にした評価ではなく、CRDS の調査・見解による評価である。

◎ 特に顕著な活動・成果が見えている、○ 顕著な活動・成果が見えている

△ 顕著な活動・成果が見えていない、× 活動・成果がほとんど見えていない

（注3） トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

（8）参考文献

- 1) 三宅 常之, ジャイロが 1 ～ 2 ケタ高精度に 屋内測位サービスを後押し,
日経エレクトロニクス 2015 年 11 月号, pp. 59-67 (日経 BP, 2015).
- 2) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), “ノーマ
リーオブコンピューティング基盤技術開発”,
http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100016.html (2016 年 12 月 14 日
アクセス)
- 3) 東急電鉄, “ニュースリリース 駅構内カメラ画像配信 “駅視 -vision
(エキシビジョン)” の実証実験を開始します”,
<http://www.tokyu.co.jp/company/news/list/?id=2392> (2016 年 12 月 14 日
アクセス)
- 4) 唐島 明子, “クラウドの次は「エッジヘビー」——分散協調型の機械学習で
工場の機械がリアルタイム連携”,
<http://businessnetwork.jp/Detail/tabid/65/artid/4504/Default.aspx> (2016
年 12 月 14 日アクセス)
- 5) Kyle Vanhemert, “手品のような「触感の UI」の未来”
<http://wired.jp/2015/04/12/apples-haptic-tech/> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 6) 国土交通省, “空港やスタジアムにおける高精度な測位技術の活用実証や更なる活用
推進を検討します”,
http://www.mlit.go.jp/report/press/kokudoseisaku01_hh_000102.html (2016 年 12
月 14 日アクセス)
- 7) 小谷 卓也, “ウェアラブルには「行動変容」を促す仕組みを”,
<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/FEATURE/20140603/355801/?ST=health> (2016
年 12 月 14 日アクセス)
- 8) BeaconLabo (ビーコンラボ), “ジオフェンス機能や Beacon を用いて新たなイベン
トとの出会いを提供”,
<http://beaconlabo.com/2015/12/1931/> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 9) 株式会社 NTT ドコモ, “IoT × モビリティの「これまで」と「これから」”,

- http://www.soumu.go.jp/main_content/000400688.pdf(2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 10) 和田 憲一郎, “エネルギー不要の技術あり、環境から少しずつ回収して使う”,
http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1406/27/news020_2.html
(2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 11) 大日本印刷 株式会社, “Spansion のエネルギーハーベスティング向け電源 IC 搭載モジュールを利用して屋内位置情報および O2O サービスの実証実験を開始”,
http://www.dnp.co.jp/news/10105059_2482.html (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 12) Matt Burns, Google, “スマートサーモスタット Nest をハブとするホームオートメーション・プラットフォームを発表”,
<http://jp.techcrunch.com/2014/06/25/20140623google-makes-its-nest-at-the-center-of-the-smart-home/> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 13) “UnderWare: Aesthetic, Expressive, and Functional On-Skin Technologies” International Workshop at the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp2016: Heidelberg, Germany, 2016)
<http://underware.media.mit.edu> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 14) 近藤 聖, “ついに空を飛べる!?VR ゴーグルドローン「FLYBi」”,
<https://www.borg.media/flybi-2016-06-02/> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 15) 日本経済新聞, 「最高の酒に杜氏はいらぬ 「獺祭」 支える IT の技」, 2015 年 3 月 24 日
<http://www.nikkei.com/article/DGXMZO83592100U5A220C1000000/> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
 - 16) 一般社団法人 関西経済同友会 最先端技術ものづくり委員会, 「【提言】「匠の技」と最先端技術が融合する関西クラスターの構築」, 2016 年 4 月, P8
 - 17) ZDNet Japan, “「アマゾン「Alexa」が注目を集める理由」--「スマートホーム・ハブ」の本命?」, 2016 年 4 月 24 日”,
<http://japan.zdnet.com/article/35081512/> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
 - 18) 日経産業新聞, 「会話の時代が来た、ユーザーインターフェース」, 2016 年 9 月 29 日
 - 19) 株式会社 日本政策投資銀行 (DBJ) 産業調査部, “1 兆個のセンサによる社会変革”,
http://www.dbj.jp/ja/topics/report/2015/files/0000021467_file2.pdf (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 20) 株式会社 インテリジェントセンサーテクノロジー, “味覚センサーとは?”
http://www.insent.co.jp/products/taste_sensor_index.html (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 21) 日経テクノロジーオンライン (編), 「Trillion Sensors Summit Japan 2014 ~ 1 兆個のセンサが医療 / 農業 / 建物 / 交通を覆う~」全講演録, (日経 BP, 2014)
 - 22) 原田 典明, 青木 勝, 三上 明子, 峯下 聡志, 斎藤 志傑, 人の行動を「見える化」する動線解析技術と活用例, NEC 技報 Vol. 64, No. 3, pp.16-21 (NEC, 2011).
<http://jpn.nec.com/techrep/journal/g11/n03/pdf/110303.pdf> (2016 年 12 月 14 日アクセス)

- 23) Apple, "ResearchKit と CareKit",
<http://www.apple.com/jp/researchkit/> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 24) 大下 淳一, "センサー内蔵の錠剤「デジタルメディスン」が登場",
<http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/news/15/091400312/?ST=health> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 25) 近藤 寿成 "東京大学, "医療・介護記録を自身で管理する仕組みを試験運用",
<http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/news/15/090400176/?ST=health> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 26) 赤坂 薫, "リオ五輪、選手は指輪型ウェアラブルで決済 !Visa が端末を配布",
<http://www.rbbtoday.com/article/2016/06/06/142525.html> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 27) 小山 安博, "iPhone でモバイル Suica が使えるようになる? - NFC 対応スマートフォンに FeliCa 搭載という流れ",
<http://news.mynavi.jp/articles/2016/07/15/nfc/> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 28) マイカー燃費管理サービス「e 燃費 (イーネンピ)」, "あいおいニッセイ同和損保、走行距離連動の保険を 4 月から販売…トヨタ T-Connect 活用",
<http://e-nenpi.com/article/detail/243935> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 29) 東京大学空間情報科学研究センター, "人の流れプロジェクト",
<http://pflow.csis.u-tokyo.ac.jp> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 30) 株式会社 NTT ドコモ, "神戸市ドコモ見守りサービス (実証事業) の開始",
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/notice/2016/09/15_00.html (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 31) 藤沢市・慶應義塾大学 SFC 研究所, "「藤沢みんなのレポート」の試行的運用を開始",
https://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/kouhou/shise/gaiyo/shicho/kishakaiken/2016/20161020_03.html (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 32) 長谷川 良平, ブレイン・マシン インタフェースの現状と将来, 電子情報通信学会誌 Vol. 91, No. 12, pp. 1066-1075 (2008).
http://www.journal.ieice.org/conts/kaishi_wadainokiji/2008/200812.pdf (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 33) エースラッシュ, Suica のデータ販売中止騒動、個人特定不可なのになぜ問題? ビッグデータの難点, Business Journal 2013 年 8 月 23 日記事
http://biz-journal.jp/2013/08/post_2760.html (2016 年 12 月 14 日アクセス)

3.2.2 CPS/IoT/REALITY 2.0 アーキテクチャー

(1) 研究開発領域の簡潔な説明

本領域では CPS/IoT/REALITY 2.0 のアーキテクチャーについて記載する。本領域の研究目的は、上位レイヤーを支えるデータ基盤技術を確立することである。

CPS/IoT の進展に伴い、実世界に張り巡らされることが期待される極めて多数のセンサーから得られるイベント、データを収集し、多様なアプリケーションで活用できるアーキテクチャーとそれに基づくプラットフォームの研究開発が必要となっている。

このレイヤーは REALITY 2.0 を支えるデータシステムであり、その構成要素には分散データ管理、エッジコンピューティング、ストリームコンピューティング、データシステムアーキテクチャーがある。

(2) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

REALITY 2.0 では大量のセンサー群から膨大なデータが収集される。このようなデータはユーザーの目的に応じて処理されるが、そのためにはデータ基盤システムが必要である。データ基盤システムとしてはデータベース管理システム (DataBase Management System:DBMS) が広く利用されてきた。DBMS には SQL 問い合わせ処理システムとトランザクション処理システムの二つのサブシステムが含まれる。これらのシステムはいずれも複雑であるため、それらを統合する DBMS 自体の大幅な修正は容易ではない。2005 年に両サブシステムをまとめる場合の性能的問題が指摘¹⁾されて以来、サブシステムごとの改善が顕著に行われてきた。

その傾向は現在も変わらず、むしろ増加傾向にある。その結果として、さまざまな用途に最適化されたさまざまなサブシステムが現在乱立している。問い合わせ処理のストレージー一つをとっても、DBMS を用いる構造とファイル上でデータを置く構造がある。また、問い合わせ処理一つをとっても、SQL を提供するシステムと、MapReduce と呼ばれる分散並列データ処理システムを提供するシステムがある。さらにこれらはそれぞれクラスター、ハードウェアを用いた最適化などがあり、細かい用途に応じてさまざまなバリエーションが存在している。

性能最適化とは別の方向として、CPS/IoT/REALITY 2.0 のセキュリティーやプライバシー保護のために暗号化データを復号せずにデータ処理する研究も存在する²⁾。

さらに、CPS/IoT のアーキテクチャーとして、極めて多数のセンサーを管理し、そこから送信されるイベントやデータを収集し、アプリケーションで処理するためのクラウドコンピューティング、エッジコンピューティングなどを基礎とするアーキテクチャーのモデルと設計技術の研究が行われている³⁾⁻⁶⁾。

IoT アーキテクチャーのドメインによらない標準として、oneM2M⁷⁾、Enterprise IoT⁸⁾、MEC (Mobile Edge Computing)⁹⁾ や NIST の提案¹⁰⁾ などがある。また、Industrie 4.0¹¹⁾、IIC (Industrial Internet Consortium)¹²⁾ などの製造業や産業に特化したドメイン固有の IoT 参照アーキテクチャー、あるいは、機械学習やコグニティブなどの特定技術を実現するアーキテクチャーの設計技術などが基礎から実用化まで、研究開発が進められている。さらに、近年では新たな基盤的な技術であるボット (Bot) やブロックチェーン (Block

Chain) などを活用できるアーキテクチャ技術^{13),14)}も出現しており、基礎研究から実用化まで包含した極めて重要な研究課題となっている。

わが国はこの分野における研究開発について他国の後塵を拝しており、世界の潮流に追従できていないという現状にある。

(3) 注目動向

[分散データ管理]

複数のコンピュータに跨がるデータ（複製）を共有するには二つの方式がある。第一の方式は合意である。古典的な分散合意手法には Paxos¹⁵⁾ があり、その簡易版には Raft¹⁶⁾ がある。これらの手法は分散システムにおいて合意を得るために用いられる。これまでの主たる用途はサイズの小さな設定ファイルの共有だったが、近年は地理的に分散した巨大なサイズのデータベース自体の共有のためにも用いられるようになってきた¹⁷⁾。

データ共有の第二方式は分散トランザクション処理である。データが複数ノードに存在する場合でもトランザクション処理を実行することは可能である。基本的な方式は 2 相コミットと呼ばれる。2 相コミットではデータを有するノード（データノード）に対して、まず処理可能かどうかを問い合わせる。全てのデータノードが処理可能と返答すれば、各データノードでの処理を実行させる。

2 相コミットは処理時間が長いことが知られており、そこでさまざまな高性能化の試みが行われている。まず、制約緩和による RAMP (Read Atomic Multipartition)¹⁸⁾ がある。次に、不揮発メモリと RDMA (Remote Direct Memory Access) という高性能ハードウェアとネットワークを利活用した高性能化を実現する FaRM¹⁹⁾ がある。FaRM は TATP (Telecommunication Application Transaction Processing) ベンチマークを用いた実験で 1 億 4000 万トランザクション/秒という高性能を達成している。

[エッジコンピューティング]

センサーデバイスから生じる膨大なデータをクラウドに転送してから処理をするのでは膨大な通信コストが求められる。これを避けるためにセンサーデバイス、すなわちエッジにおいて必要な処理を行う計算パラダイムがエッジコンピューティングである。コンセプトは自明であり、計算パラダイムが分散（グリッド）から集中（クラウド）へ向かう時代には常に注目される。現在もさまざまな状況で適用されており、通信会社における試みなどがある²⁰⁾。2016 年 10 月に初めての国際会議が開催²¹⁾ されるなど、研究分野活発化の兆しがある。

EU では IERC (IoT European Research Cluster) のコーディネーションの下、エッジコンピューティングおよびゲートウェイアーキテクチャの研究と標準化について、約 30 のプロジェクトが進行している²²⁾。また、ETSI におけるモバイルエッジコンピューティングの標準化⁹⁾ や Cisco などでの製品化⁴⁾ への取り組みがある。

[ストリームコンピューティング]

サイエンスで使われる観測機や IoT デバイスからは、データが次々に生じる。例えば

天体望遠鏡 LSST (Large Synoptic Survey Telescope) からは年間 60PB (ペタバイト) の観測データが生成される²³⁾。このようなデータを全て保存して処理するには膨大なコストが必要である。そこでシステムに到着したデータをオンザフライで処理するデータ処理パラダイムであるストリームコンピューティングが注目されている。

かつてのストリームコンピューティングではリレーショナル代数あるいはタプルベースの処理にウィンドウ演算子を導入するものだったが、近年は異常検出などの特定分野を指向した技術が現れつつある²⁴⁾。

[データシステムアーキテクチャー]

①データ分析アーキテクチャー

さまざまな種類のデータが大量に生じることから、それを格納するデータシステムは多様なデータモデルを取る。最も使われるモデルは SQL により問い合わせ可能なリレーショナルデータモデルだと考えられる。このモデルを実現するアーキテクチャーとしていわゆる RDBMS (Relational Database Management System) とファイルベースの Hadoop/Spark がある。RDBMS の中には高性能化のために FPGA 等のハードウェアを活用している Netezza や Oracle ExaData などがある。Hadoop/Spark では KVS (Key-Value Store) やファイルでデータ管理を行い、MapReduce や SQL 問い合わせ処理系でデータ処理を可能にする。

急速に普及する Spark はインメモリ処理を指向することで高速化を図っており、そのソフトウェアスタックは SQL のみならず、グラフ処理 (GraphX)、機械学習 (MLlib)、ストリーム処理などさまざまなものがある。

②トランザクション処理アーキテクチャー

上記のデータ分析処理とは別に、単一マシンでのトランザクションに関しても活発な研究が昨今行われている。その例にはマルチソケットのメニーコアマシンにおける性能極大化を狙った研究もある²⁵⁾。主たる潮流として楽観的並行実行制御モデルに基づき多数のトランザクションをまとめてコミットする方式²⁶⁾がある。このような試みによりトランザクションによる性能オーバーヘッドは急激に削減されており、近い将来、トランザクションのオーバーヘッドが無視できる可能性すら存在する。

[ドメイン固有の CPS/IoT の参照アーキテクチャーの研究の例]

ドイツの主導する Industrie 4.0¹¹⁾ や米国が主導する IIC (Industrial Internet Consortium)¹²⁾ などが製造業のアーキテクチャー参照モデルを提案し、グローバルな主導権を握りつつある。また、Bosch は Enterprise IoT アーキテクチャーの参照モデルを提案している⁸⁾。

また、ブロックチェーンの IoT アーキテクチャーへの応用として、IBM 社 Samsung 社による ADEPT (Autonomous Decentralized Peer-to-Peer Telemetry) などの新たなアーキテクチャーの研究が進められている¹⁴⁾。

さらに、従来のスマートフォンのアプリケーションに代わる、ボット (Bot) を利用したモバイルサービスの新しいアーキテクチャーの研究と実用化が進展している。¹³⁾

その他の動きとしては、CPS/IoT の応用ドメインとして自動車ソフトウェアアーキテクチャーの研究と標準化が活発となっている。

[CPS/IoT のセキュリティ/プライバシーの研究]

IoT のセキュリティやプライバシーの研究も活発になっている^{27),28)}。特に、自動車がネットワークに接続された、いわゆるコネクテッドカーのハッキングが大きな問題となり、自動車のセキュリティは重要な研究課題となっている²⁹⁾。

（4） 科学技術的課題

デバイスとクラウドコンピューティングや企業情報システムとの間にエッジコンピューティング（または、フォグコンピューティング）と呼ぶ新たなコンピューティング層を配置するアーキテクチャーが台頭している⁶⁾。このエッジコンピューティングは今後の CPS/IoT/REALITY 2.0 アーキテクチャーにおいて重要な役割を果たすと考えられるため、その研究開発が必要である。

CPS/IoT /REALITY 2.0 システムでは社会の隅々まで張り巡らされたセンサーや端末の数が飛躍的に増大することから、スケーラビリティ、セキュリティ、リアルタイム性などの新たな要求を実現するアーキテクチャーのモデルとその設計方法、実装方法の研究が必要である。

さらに、技術的ボトルネックとなるのがデータのサイズとフォーマットである。サイズが大きくなれば管理・処理コストが増大する。フォーマットが増えれば、それらを跨がって共通した処理を行うことが困難になる。注目動向で挙げた要素はいずれも重要だが、わが国が国際的競争に勝つためには全てを対象とすることは現実的ではなく、いずれかの分野に注力することが必要である。注力すべき分野は、現在強い異分野との連携が容易な分野だと考える。

CPS/IoT/REALITY 2.0 アーキテクチャーの上位でわが国が強い分野には自動車産業があり、下位でわが国が強い分野にはスーパーコンピューターがある。自動車産業で重要な処理は、上記の注目動向で挙げたストリームコンピューティングであり、スーパーコンピューターで重要な処理は、データシステムアーキテクチャーである。これらの、技術的なボトルネック、知識の欠如、ホットな研究開発課題、わが国として今後取り組むべき技術的課題等については以下のとおりである。

[ストリームコンピューティング（自動車との連携から）]

技術的なボトルネックはデータの取り込みである。データ処理を行うにはそもそもデータをコンピュータへ取り込まなければならないが、NIC（Network Interface Card: ネットワークインターフェースカード）から CPU へのデータ転送コストが大きく、そもそもそこがボトルネックになっている。これについては FPGA を利用すれば NIC と計算を同一ボードで行う等の処理により解決される可能性がある。ただしプログラム困難性を同時に解決することが求められるだろう。

この分野におけるホットな研究開発課題は異常検知である。以前のストリームコン

ピューティングでは、SQL 処理のような定型処理を指向していたが、近年は、入力データ中にほんのわずかのみ存在する異常を検出するという、本来の目的である異常検知の研究が現れてきており、カメラ画像からの異常検知等が一層広がる可能性がある。

わが国として今後取り組むべき技術的課題は、自動運転との密接な連携である。運転中の異常を検出する機械学習アルゴリズムは多数研究されているが、膨大な数の異常検出パイプラインを効率的に動作させ、さらに異常検知時にそれを適切に説明する技術などの新しいデータベース技術²⁾が求められる。また、自動運転中のデータを保存・管理・分析するためのデータ基盤が必要になる。各企業はそれらのデータを蓄積しているだろうが、扱い方に苦労している可能性もある。現在はデータこそが貴重な資源であるため、海外企業にそれらのデータを押さえられる前に、自動運転研究者とデータ研究者が連携して、新しい基盤を構築することが望ましい。

[データシステムアーキテクチャー (スーパーコンピューターとの連携から)]

技術的なボトルネックは、データが多すぎることである。データをメモリへ移動させることも困難だが、そもそもデータが多すぎて複製を作ることにも困難になりつつある³⁰⁾。

この分野におけるホットな研究開発課題は先進的デバイスを用いたデータ基盤ソフトウェアである。不揮発メモリや GPGPU などのアクセラレータの登場に伴い、それらを活用することで上記の問題を解決しようとする研究がデータシステムアーキテクチャー全般で行われている。この活用にはシステムの再設計が必要なため、ソフトウェアアーキテクチャーを熟知している必要がある。わが国でもファイルシステムについてはそのような試みが行われている³¹⁾。一方、わが国ではそのような人材が産官学で希少である。この状況は米欧中韓とは正反対であり、日本だけ一人負けの状況である。

わが国として今後取り組むべき技術的課題は、スーパーコンピューター分野との連携によるデータシステムアーキテクチャーの再設計である。研究や、研究環境の整備等において他国から後れを取っている状況であるが、わが国が強い分野であり、さらに常に先進的デバイスを取り込むスーパーコンピューターの分野と連携すれば、近年のホットトピックであるに先進的デバイスを用いたデータ基盤ソフトウェアの研究開発を合理的に展開可能であるため、このアプローチが競争で優位に立てる一手法と考えられる。

また、REALITY 2.0 では膨大な量のデータを管理しなければならないが、それを実現する施設がほとんどないため、技術的課題以前に膨大量のデータを管理可能な施設を早急に検討する必要がある。HPCI (High Performance Computing Infrastructure) ではスーパーコンピューターユーザー用に 22PB (ペタバイト) のストレージを提供³⁰⁾しているが、REALITY 2.0 でも同様にそれ以上のストレージを提供する施設がなければ、上位層の研究を適切に展開できないと思われる。費用削減・運用管理効率化のため、国内クラウドベンダーとの連携を視野に入れることが望まれる。

(5) 政策的課題

研究開発を推進する上で本領域に特有の制度上の課題は、人材が他国 (米欧中韓) よりも非常に少なく、また、研究を支援する体制が脆弱な点である。これは世界のトップ会議

（SIGMOD、VLDB、OSDI 等）にわが国から出席しているシステム系の研究者が非常に少ないことから言える。本領域に関する学術研究者はわが国には少なく、特に若手の数が減り続けている。この領域でわが国が優位に立つためには、偶発的に有力な研究や技術が誕生することに期待するのではなく、若手研究者の育成に関する早期の取り組みをすべきである。

取り組みは、本領域に対して単に予算を増加させるだけでは不足である。まずは産学を跨がるコミュニティ構築が必要だと考えられる。なぜならこの分野は基盤技術であるため、応用を適切に理解しなければ適切な研究課題を設定できないためである。この分野は、学術的な研究を進めるというよりも、有益な技術を開発し、さらに運用するという意味合いが強い分野である。わが国のサイエンスの分野では、気象学や天文学など膨大なデータの管理に直面して苦しむ専門家がいる。一方で、企業内部ではそうした問題を抱えた人材が公には見えづらく、サイエンス分野の専門化との交流が進みづらいという問題がある。そのため、産学を跨る連携を進めるにはベンチャー企業などを利用した活発な人材交流が求められる。

次に、外国、特に米国との連携を行えるスキームが必要である。なぜならこの分野は米国が圧倒的に強いからである。米国のみならず企業でも研究開発が活発に行われており、活躍する日本人もいるため、彼らとの連携が好ましい。

また、上述した大規模データを管理可能な施設を整備することが好ましい。現状は身近にデータがないから技術の必要性がわからないために研究を展開できず、たとえ研究を展開しても不要と言われる状況である。現実には企業にも大規模データが存在するのだから（例：広告、通信など）それら企業との連携が好ましい。

さらに、CPS/IoT/REALITY 2.0 の社会的受容を促進するために、実証実験を行うテストベッドの構築や特区の設定をしていくことも必要である。

(6) キーワード

分散データ管理、エッジコンピューティング、IoT、
ストリームコンピューティング、classification、clustering
データシステムアーキテクチャー、relational database、Apache Spark
Apache Hadoop、MapReduce、SQL、GPGPU、FPGA、CPS、Fog Computing、
クラウドコンピューティング、Industry 4.0、Industry Internet
Consortium、Architecture、Platform、ブロックチェーン、Block Chain、
セキュリティ、プライバシー

(7) 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	△	↓	一部の有力な研究者がまれにトップ会議で報告することがある程度であり、国際的には存在感は希薄である。人材育成計画は示されておらず、今後の不透明感が強い。
	応用研究・開発	△	↓	一部のドメインや企業で積極的な取り組みが表れているが、米国や欧州に比べ規模や、産業間連携などの点で劣る。 また、人材を育てられる大学教員が稀少であり、企業では分野から撤退して人材を減らす状況が続いている。
米国	基礎研究	◎	→	多くの大学や産業界で研究が活発に行われ、世界をリードしている。また、SIGMOD、VLDB、OSDI、SOSP などデータ基盤に関わる国際会議で圧倒的な力を示している。さらに今後も政府が研究開発への支援を行う予定 ³²⁾ 。
	応用研究・開発	◎	↑	IIC のメンバー企業や自動車業界、医療機器業界などで、実用化が確実に進んでいる。 また、Amazon、Google、IBM などが IoT 開発プラットフォームを提供している。
欧州	基礎研究	○	→	IERC のコーディネーションのもと、30 を超える研究開発プロジェクトが進行 ^{22),33)} 。 また、米国には劣るが一定数の会議報告者が存在し、特に TU ミュンヘンのチームは Hyper なる超高速データ基盤で一定の存在感を見せている。
	応用研究・開発	○	↑	ドイツの Industrie 4.0 など、産学連携、業界横断的な応用研究と実用化が進んでいる ^{11),34)} 。
中国	基礎研究	○	↑	Internet Plus プロジェクト ^{35),36)} を立ち上げ、広範な領域で研究開発を加速している。 また、トップ会議発表が近年急速に増加している。
	応用研究・開発	△	↑	Internet Plus では、さまざまな領域での応用が進められている。その一つとして、Made in China 2025 ^{37),38)} のもと、技術開発と実用化を加速している。 また、優れた成果を出した後にアリババやファーウェイなどの企業で製品開発を行うケースが多く、着実に製品の品質を向上させている。さらに、幾つかの先進企業では、米国などから人材を確保し、研究開発を活発に進めている。
韓国	基礎研究	△	↑	メモリ関係で強い力を有するため、それを利活用した技術のトップ会議報告が目につく。 国としては、2014 年に IoT の研究開発に関するマスタープランを策定 ³⁹⁾ 。
	応用研究・開発	△	↑	ホームネットワークシステムなど、特定ドメインでの実用化の研究、開発が盛んに行われている。 サムソン社の会議報告が多いことから、同社の製品の品質は向上していることがうかがわれる。

(注 1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

(注 2) 現状 ※わが国の現状を基準にした評価ではなく、CRDS の調査・見解による評価である。

◎ 特に顕著な活動・成果が見えている、○ 顕著な活動・成果が見えている

△ 顕著な活動・成果が見えていない、× 活動・成果がほとんど見えていない

(注 3) テレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

(8) 参考文献

- 1) Michael Stonebraker and Ugur Cetintemel, One Size Fits All: An Idea Whose Time Has Come and Gone, In Proceedings of the 21st International Conference on Data Engineering (Tokyo, Japan, 2005) pp. 2-11, (IEEE, 2005).
- 2) Raluca Ada Popa, Catherine M. S. Redfield, Nickolai Zeldovich, and Hari Balakrishnan. CryptDB: protecting confidentiality with encrypted query

- processing, In Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Operating Systems Principles (Cascais, Portugal, 2011) pp. 85-100 (ACM, 2011).
- 3) 青山 幹雄、エッジ指向エンタープライズ IoT アーキテクチャの概念と課題, ウィンターワークショップ 2016・イン・逗子 (湘南国際村センター, 2016) 論文集, pp. 30-31 (情報処理学会, 2016),
 - 4) Flavio Bonomi, Rodolfo Milito, Jiang Zhu, and Sateesh Addepalli, Fog Computing and Its Role in the Internet of Things, In Proceedings of MCC '12 workshop on Mobile cloud computing (Helsinki, Finland, 2012), pp. 13-16 (ACM, 2012).
 - 5) Rajkumar Buyya and Amir Vahid Dastjerdi (eds.), Internet of Things: Principles and Paradigms, (Morgan Kaufmann, 2016).
 - 6) Weisong Shi and Schahram Dustdar, The Promise of Edge Computing, IEEE Computer, Vol. 49, No. 5, pp. 78-81 (2016).
 - 7) oneM2M (M2M 分野の新・国際標準組織), Functional Architecture, TS-0001-V.2.10.0, Aug. 30, 2016,
http://www.onem2m.org/images/files/deliverables/Release2/TS-0001-%20Functional_Architecture-V2_10_0.pdf (2016 年 12 月 22 日アクセス)
 - 8) Dirk Slama, Frank Puhmann, Jim Morrish, and Rishi M Bhatnagar, Enterprise IoT: Strategies and Best Practices for Connected Products and Services (O'Reilly, 2015).
 - 9) European Telecommunications Standards Institute (ETSI) Mobile Edge Computing Industry Specification Group, Mobile-Edge Computing (MEC); Framework and Reference Architecture, ETSI GS MEC 003 V1.1.1, (ETSI, 2016)
http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/003/01.01.01_60/gs_MEC003v010101p.pdf (2016 年 12 月 22 日アクセス)
 - 10) National Institute of Standards and Technology (NIST) Cyber Physical Systems (CPS) Public Working Group, Framework for Cyber-Physical Systems, Release 1.0, May 2016,
 - 11) Gunther Koschnick, The Reference Architectural Model RAMI 4.0 and the Industrie 4.0 Component,
<http://www.zvei.org/en/subjects/Industry-40/Pages/The-Reference-Architectural-Model-RAMI-40-and-the-Industrie-40-Component.aspx>. (2016 年 12 月 22 日アクセス)
 - 12) Industry Internet Consortium (IIC), Industry Internet Reference Architecture, Ver. 1.7, (IIC, 2015),
<http://www.iiconsortium.org/IIRA.htm> (2016 年 12 月 22 日アクセス)
 - 13) Economist, Bots, The Next Frontier, 09 April 2016,
<http://www.economist.com/news/business-and-finance/21696477-market-apps-maturing-now-one-text-based-services-or-chatbots-looks-poised> (2016 年 12 月 22 日アクセス)
 - 14) IBM Institute for Business Values, Empowering the Edge: Practical Insights on a

- Decentralized Internet of Things, (IBM, 2015).
<https://www-935.ibm.com/services/us/gbs/thoughtleadership/empoweringedge/>
(2016 年 12 月 22 日アクセス)
- 15) Leslie Lamport, Time, Clocks and the Ordering of Events in a Distributed System, Communications of the ACM Vol. 21, No. 7, pp. 558-565 (1978).
 - 16) Diego Ongaro and John Ousterhout. In search of an understandable consensus algorithm. In Proceedings of the 2014 USENIX Annual Technical Conference (Philadelphia, USA, 2014) ,pp. 305-320 (USENIX, 2014).
 - 17) James C. Corbett, et. al, Spanner: Google's Globally Distributed Database, ACM Transactions on Computer Systems, Vol. 31, No. 3, Article 8, (2013).
 - 18) Peter Bailis, Alan Fekete, Ali Ghodsi, Joseph M. Hellerstein, and Ion Stoica. Scalable Atomic Visibility with RAMP Transactions, ACM Transactions on Database Systems Vol. 41, No. 3, Article 15 (2016).
 - 19) Aleksandar Dragojević, Dushyanth Narayanan, Edmund B. Nightingale, Matthew Renzelmann, Alex Shamis, Anirudh Badam, and Miguel Castro. 2015. No compromises: distributed transactions with consistency, availability, and performance, In Proceedings of the 25th Symposium on Operating Systems Principles, (Monterey, California, USA, 2015) pp. 54-70 (ACM,2015).
 - 20) 田中 裕之, 高橋 紀之, 川村 龍太郎, IoT 時代を拓くエッジコンピューティングの研究開発 ,NTT 技術ジャーナル 2015 年 8 月号 , pp. 59-63 (NTT,2015).
 - 21) The First IEEE/ACM Symposium on Edge Computing (Washington DC, USA, 2016)
<http://conferences.computer.org/SEC/> (2016 年 12 月 22 日アクセス)
 - 22) IoT European Research Cluster (IERC)
 - 23) <http://www.internet-of-things-research.eu/>. (2016 年 12 月 22 日アクセス)
 - 24) Large Synoptic Survey Telescope (LSST), Technology Innovation
<https://www.lsst.org/about/dm/technology> (2016 年 12 月 22 日アクセス)
 - 25) Peter Bailis, Edward Gan, Samuel Madden, Deepak Narayanan, Kexin Rong, and Sahaana Suri, MacroBase: Prioritizing Attention in Fast Data, 2017 ACM SIGMOD Conference, (Raleigh, North Carolina, USA, 14-19 May 2017).
 - 26) Hideaki Kimura. FOEDUS: OLTP Engine for a Thousand Cores and NVRAM, In Proceedings of the 2015 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (Melbourne, Australia, 2015) pp. 691-706 (ACM, 2015).
 - 27) Stephen Tu, Wenting Zheng, Eddie Kohler, Barbara Liskov, and Samuel Madden, In Proceedings of the 24th ACM Symposium on Operating Systems Principles (Farmington, Pennsylvania, USA, 2013) pp. 18-32 (ACM, 2013).
 - 28) Fei Hu (ed.), Security and Privacy in Internet of Things (IoTs):Models, Algorithms, and Implementations (CRC, 2016)
 - 29) Industry Internet Consortium (IIC), Industry Internet of Things、 Vol. G4: Security Framework, (IIC, 2016)

- <https://www.iiconsortium.org/IISF.htm>. (2016 年 12 月 22 日アクセス)
- 30) Riccardo Coppola and Maurizio Morisio, Connected Car: Technologies, Issues, Future Trends, ACM Computing Survey, Vol. 49, No. 3, Article No. 46 (2016).
- 31) High Performance Computing Infrastructure (HPCI) 共用ストレージ
<https://www.hpci-office.jp/info/pages/viewpage.action?pageId=11862295> (2016 年 12 月 22 日アクセス)
- 32) Fuyumasa Takatsu, Kohei Hiraga, and Osamu Tatebe, PPFS: a Scale-out Distributed File System for Post-Petascale Systems, the 2nd IEEE International Conference on Data Science and Systems, (Sydney, Australia, 12-14 Dec. 2016).
- 33) Afua Bruce, Dan Correa, and Suhas Subramanyam, Internet of Things: Examining Opportunities and Challenges, The White House Blog, Aug. 30, 2016.
<https://www.whitehouse.gov/blog/2016/08/30/internet-things-examining-opportunities-and-challenges> (2016 年 12 月 22 日アクセス)
- 34) Ovidiu Vermesan and Peter Friess (eds.), Digitising the Industry Internet of Things Connecting the Physical, Digital, and Virtual Worlds (River. 2016).
- 35) The People's Republic China, The State Council, Internet Plus,
<http://english.gov.cn/2016special/internetplus/>. (2016 年 12 月 22 日アクセス)
- 36) Zhu Wang, Chao Chen, Bin Guo, Zhiwen Yu, and Xingshe Zhou, Internet Plus in China, IEEE IT Professional, Vol. 18, No. 3, pp. 5-8 (2016).
- 37) The People's Republic of China, The State Council, Made in China <http://english.gov.cn/2016special/madeinchina2025/>. (2016 年 12 月 22 日アクセス)
- 38) Wing Chu, China's 13th Five-Year Plan: Made in China 2025 and Industrie 4.0 Cooperative Opportunities, HKTDCC (Hong Kong Trade Development Council) Research, June 7, 2016.
<http://economists-pick-research.hktdcc.com/business-news/article/Research-Articles/China-s-13th-Five-Year-Plan-Made-in-China-2025-and-Industrie-4-0-Cooperative-Opportunities/rp/en/1/1X000000/1X0A6AZ7.htm>. (2016 年 12 月 22 日アクセス)
- 39) Ministries of the Republic Korea, Ministry of Science, ICT and Future Planning, Master Plan for Building the Internet of Things (IoT), May 2014,
[http://www.iotkorea.or.kr/2013_kor/uploadFiles/board/KOREA-%20IoT%20\(Internet%20of%20Things\)%20Master%20Plan%20-%202014.pdf](http://www.iotkorea.or.kr/2013_kor/uploadFiles/board/KOREA-%20IoT%20(Internet%20of%20Things)%20Master%20Plan%20-%202014.pdf) (2016 年 12 月 22 日アクセス)

3.2.3 モノ・ヒト・コトのスマートなサービス化技術

(1) 研究開発領域の簡潔な説明

情報システムが提供するサービスに加えて、組み込み機器などの「モノ」にさまざまなサービスが付加されてきた。さらに、クラウドソーシングなどの「ヒト」の活動や、経験や体験など「コト」など、社会全体を距離や時間によらずサービスとして提供し、利用するための技術の確立とそれを支援する基盤の構築が進んでいる。

モノ・ヒト・コトを統合化し、新たなサービスを創出するために、機能をコンポーネント化 (API (Application Programming Interface) 化) して、プログラムから呼び出し可能とする技術やコンポーネントの粒度を決定するための技術が必要となる。また、シェアリングサービスなどのネットワークを通じたサービス提供、利用を仲介するプラットフォームやエコシステムを創出するための方法とそれを支援する基盤の研究開発が必要である。

さらに、モノ・ヒト・コトコンポーネントを統合化することでサービスを構築するための技術も必要となる。

(2) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

[サービスの Web API 化: 「ヒト」「モノ」「コト」のサービス化]

Web 標準プロトコルである HTTP で利用可能とする REST¹⁾ に基づく API 化が急激に進行している。これを Web API と呼ぶ。例えば、Web API のオンラインレジストリの一つである Programmable Web によれば、公開されている Web API 数は 2005 年に比べ 2013 年には約 10,000 倍へと爆発的に増大している²⁾。さらに、サービス化の対象も拡大している。3 次元高精度地図³⁾ などの実世界の「モノ」、クラウドソーシングなどの「ヒト」の活動⁴⁾ も Web API 化されようとしている。今後も、この Web API 化は一層拡大すると考えられる⁵⁾。

Web サービスの世界においては、ある機能を持ったプログラムが、API という形でインターネット上に公開されている。このため、Web サービスを構築するに当たって、サービス提供者は必要な機能を全て一から作成する必要はなく、公開されている API を必要に応じてソフトウェアで呼び出し、それらを組み合わせることによって、提供したいサービスを実現している。ここで API の作成者は、API の利用や API の利用から得られる収益に対して課金をしたり、優れたアプリケーションが創出されることを期待して無償で提供するという形で公開している。

REALITY 2.0 の世界では、こうした Web サービス (サイバー空間) において、機能を動的に組み合わせてサービスを構築するという仕組みを、物理世界に存在するモノ・ヒト・コトまで拡張していく。その実現に向けては、これまで Web サービスにおいて開発されてきた技術や手法を物理世界に適用していくことが一つの方法として考えられる。そのため、ここでは、Web の世界の具体的な技術と国内外の動向について記述する。

〔サービスプラットフォームのインフラストラクチャー〕

これまでの Web サーバーとアプリケーション（AP）サーバー、データベース（DB）の 3 層構造を基本としたインフラストラクチャーは、Web/AP/DB が硬直的に組み合わさっていたために柔軟性にかけ、3 層のどこが止まってもアプリケーションは停止してしまう障害に弱い構造だった。最新のブラウザ中心型のアプリケーション技術では、シングルページアプリケーションアーキテクチャ⁶⁾が採用される。シングルページアプリケーションアーキテクチャーはフロントエンドとバックエンドを並列にすることで、高いサービス継続性を提供する。画面を構成するフロントエンドは HTML5/JavaScript で構築され、HTML5 コンテンツを Akamai のようなコンテンツデリバリーネットワーク（CDN）にキャッシュすることができる構造を持つ。フロントエンドのサービス可用性は CDN がコンテンツを地域的に広く分散することで保証される⁷⁾。CDN からロードされる HTML5 コンテンツは直接的なアプリケーションコンテンツは含んでおらず、サブページの枠組みだけが提供される。この枠組みだけのコンテンツがブラウザにロードされると、内包されている JavaScript を起動しユーザーの Cookie や Web サイト、ソースアドレスなどのユーザー情報を収集する。続いて、アプリケーションの枠に適切なコンテンツを表示するためのバックエンドのアプリケーションロジックを API により呼び出す。呼び出されるアプリケーションは自社のアプリケーションである場合もあり、Web 広告や他者のサービスである場合もある。ブラウザにはサブページの枠ごとに順次呼び出された API の戻り値として指定されたコンテンツが画面上に表示される。その多くは同様に CDN からロードされることで可用性を担保している。アプリケーション機能を提供するバックエンドサービスが停止していた場合には代替コンテンツを提示する。（図 3-2-3）

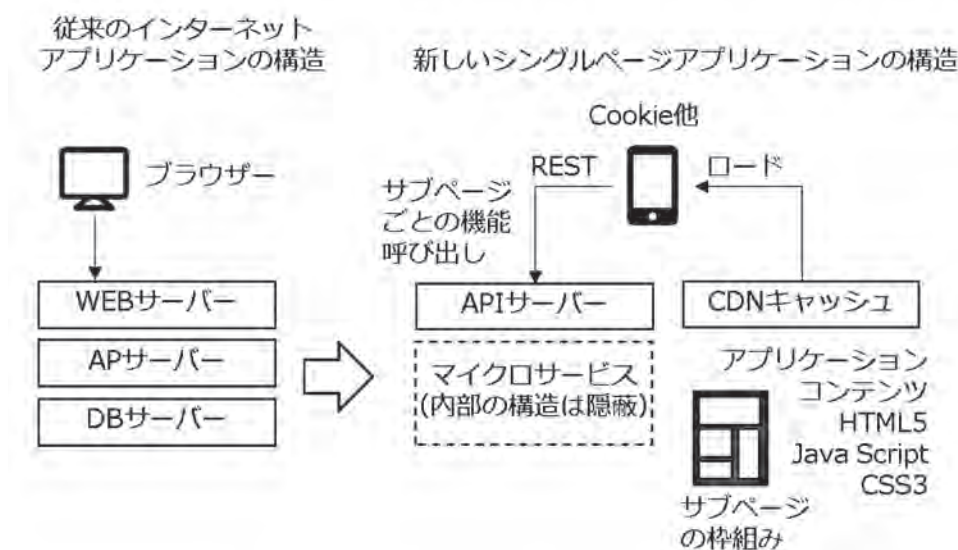


図 3-2-3. アプリケーション構造の変化

従来は 3 層構造のどこが止まっても停止してしまう構造だったが、最新のアーキテクチャーではフロントエンドは地域的に分散した CDN の高い可用性に守られ、バックエンドは代替コンテンツの指定によって可用性をユーザーに見せない構造が取られている。

[サービスエクステンション]

これらのネットワークコンポーネントを相互に接続するキーとなるのがインターネット上に展開されている各種サービスのサイトを相互に接続するサービスエクステンションである。サービスエクステンション⁸⁾はサイバーチャネルに必要な数々のパブリックサービスへの高速で安定的な接続を提供する。Akamai 社などの CDN、Google や Facebook などの SNS/Ad-Tech、IBM Bluemix や Watson のようなアプリケーションとの接続や SFDC (Salesforce.com) や AWS (Amazon Web Service)、Microsoft 社の Azure など他のパブリッククラウドサービス等のプラットフォーム構築に必要なサービスが接続されている。サービスエクステンションを中心に、自社 API をパブリックサービスと並列して API 管理層での接続を実現することで、効率的で柔軟なサイバーチャネルのインフラストラクチャーを構築することが可能となる。パブリックサービスの DevOps や CD/CI 環境 (CD: 継続的デリバリー、CI: 継続的インテグレーション) などの開発環境を利用したり、自社データセンターのクラウド開発環境を活用して管理体制を構築することでアプリケーションとインフラストラクチャーのコードを高速にリリースする環境が整う。

[ユーザーの動向、需要の把握]

上記の構造がもたらすメリットはサービスの継続性だけにとどまらない。ページの枠組みから呼び出されるサービスはそれぞれ独立して呼び出され、結果がブラウザ上で統合されるため、サービスの柔軟な変更や新しいチャネル機能の迅速な市場投入が可能となる。さらにこのブラウザ中心型のアプリケーションでは、ユーザーの興味や振る舞いを分析し、サービスや製品、お金等に対する需要を把握するためのビッグデータ分析基盤も提供できる。例えば、マウスがブラウザ上の画像の上を通過した時に小さなポップアップが表示されることがあるが、ブラウザにロードされた JavaScript プログラムでは、こうしたユーザーのデジタルな振る舞い一つ一つが示す需要の動向を把握可能である。図 3-2-4 は Google が提供するトラッキングスニペットのアナリティクステンプレートである analytic.js⁹⁾ の基本スペックである。こうした UI/UX (UI: ユーザーインターフェース、UX: ユーザーエクスペリエンス) から得られる個人の振る舞いや関連した SNS 上での発言などをベースに、ユーザーのプロファイルを生成しデジタルの情報を解析することで、需要を把握するプラットフォームにつなげることが可能である。

スクリーンビューの追跡 HTML Page Loading Virtual Page View X-site view Historical data	クロスサイトのユーザー追跡 Cookie User ID Historical Data
ユーザーイベントの追跡 Download Click on AD Gadget, Flash, Ajax Play movie, motion GIF	ソーシャルイベントの追跡 Share, Like on Facebook Tweet on Twitter Bookmark on hatena Share on Google+ X-platform analytics
サイトの速度計測 Loading Speed Ajax request response Custom time measure	

図 3-2-4. Google 社 analytic.js の機能仕様

図 3-2-4 のとおり、analytics.js ではアプリケーションのページにおけるユーザーの動作を追跡する機能が提供されている。

[API 管理と API 設計]

バックエンドのアプリケーションにおいて Apigee¹⁰⁾ のような API 管理は、開発者が組織の内外で API をもっと簡単に使えるように機能する。API 設計ツールは API の設計方法や API ライフサイクルの管理手法を提供する。

Web API は、その記述が比較的簡略であることから仕様が一定の形式でドキュメント化されていないことが少なくないためさまざまな問題がある¹¹⁾。そこで、Web API のドキュメント化の記述言語が提案されている。例えば、API Blueprint¹²⁾、Open API¹³⁾ がある。いずれも、Markdown¹⁴⁾ を基礎とする簡潔な記述言語である。さらに、Web API を登録し、公開するディレクトリも提供されている²⁾。また、Swagger (API のフレームワーク)¹⁵⁾ では、API の外部仕様に関する標準を確立している。その他、API 管理プラットフォームを提供する Apigee 社では、API 間のコントラクト（実行環境における約束事、契約）の提供に WADL (Web Application Description Language) を中心に取り扱っており、RAML や API Blueprint などのインポート/エクスポートもサポートしている。Usergrid¹⁶⁾ や IBM Mobile First Platform¹⁷⁾ は主にモバイル開発者のためのバックエンド・アズ・ア・サービスでありスケーラブルな運用環境とデータストレージの他、プッシュ通知のようなサービスを提供している。

技術的な API の将来は、サービスが他のアプリケーションを呼び出す Web フック¹⁸⁾ がサービスの可能性をさらに広げる。Web フックは GitHub や Slack など多くの場所で目にするものであるが、それが API 化されることで“ツーウェイ (two-way) API”となる方向性である。Web フックの特徴のひとつは承認が逆方向であることで、従来の API で一般的な OAuth とは反対に呼び出し側が API キーのような共有秘密情報などトークンを送信し Web フックの受信側が評価する。REST インターフェースの拡張について、HATEOAS¹⁹⁾ は REST インターフェースがアプリの「状態」を表現できない部分を、個々の状態を表現する XML/JSON に固有の MIMEType を与えてリンクをたどることでアプリケーションの状態遷移を実現する“ジャスト・イン・タイム・コントラクト”の一種である。

[コグニティブ技術とデータの活用]

コグニティブ技術とデータの活用技術は成熟と進化が段階的に進んでおり、Web 以外にも多様なサービスで活用が進んでいる。REALITY 2.0 の世界においても、サービスの構築やその実施に当たってコグニティブ技術の適用がサービスの質の向上、信頼性の確保等、スマートなサービスの実現に寄与すると考えられる。現在、三つの領域での活用が段階的に実現される²⁰⁾。第一段階は、効果が得やすいビジネス現場の接客力向上を図るサービスの導入が挙げられる。コールセンターエージェントが扱うマニュアルや製品・サービスの情報などを IBM 社の WATSON のような質問応答システムに取り込み、エージェントと顧客の会話を音声認識や自然言語分析の API で分析することで、回答の正解率を高め、サービス品質と効率を向上させる。また、ロボットと組み合わせて店頭で接客²¹⁾す

るケースなども見られる。第二段階では、社内外の情報や現場の経験などを学習し知見を得るシステムに進化する。製薬、医療、保険や投資分野では、こうしたシステムの活用によって社員が専門知識へアクセスする環境を整え、人間が判読できないほどの大量のデータや多様化した顧客ニーズへの対応を強化する²²⁾。第三の段階では、大量なデータや画像をディープラーニング技術で分析することで、今まで思い付かなかったようなサービスのコンセプトを創出し、また人間の能力では防げない事故の防止対策が可能になると考えられている。自動運転、スマートシティー、投資ファンド、証券のポートフォリオや投資リスクの分析、または誤発注による被害防止などが先行する適用分野である。

[サービス仲介技術とそのプラットフォーム技術]

シェアリングサービスやクラウドソーシングなどの相互には直接知ることのない「ヒト」と「ヒト」との間でサービスの提供/利用を行うための、仲介サービスの提供が重要な研究開発、ならびに、ビジネスと社会制度上の課題となっている^{23),24)}。特に、多くのシェアリングサービスでは、利用を希望する時点において、サービスの提供者と利用者間で即時に信用創造を行う必要があることから、そのための Web API が提供されている²⁵⁾。

[サービスエコシステム創出技術]

モノ・ヒト・コトの Web API 化とマイクロサービス化の進展に伴い、従来の情報システムの枠組みを超えて、あらゆる業種、業界が情報サービス化へと転換している²⁶⁾⁻²⁸⁾。例えば、製造業におけるスマート/デジタルマニュファクチャリング^{29),30)}や農業などの1次産業から金融業に至るサービスの連携による新たなバリューチェーン構築の研究開発が進展している³¹⁾。このようなサービスの連携を推進し、新たな社会基盤の提供と社会の生産性や安全性、セキュリティの向上の研究開発が推進されている³²⁾。

(3) 注目動向

・ API 認証とセキュリティ方式の発展 (例 :JWT、HMAC 等)

今日の API 認証は HTTP ベシク認証あるいは、OAuth に依存している。今後については、JWT (JSON Web Token) や HMAC (Hash-Based Message Authentication Code) といった新しいセキュリティスキーマとデジタル署名が出現している。

・ Web フックなど複数サービスの統合に関わる技術の API への取り込み

Web フックは Web サービス上のイベントを外部サービスへ通知する仕組みで、近年注目が集まっている API のコンセプトである。

・ Fintech 共通 API³³⁾ など業界共通 API の標準策定

日本 IBM では Fintech の推進の一環として、2016 年から Fintech 共通 API の提供を開始した。API でアプリケーション間を接続し、銀行サービス開発費の削減やセキュリティの強化を実現する。こうした、業界共通 API の標準策定が今後進められると考えられる。

・ Linux コンテナ技術とコンテナオーケストレーション技術、サーバーレスアーキテクチャーの発展

一つの LinuxOS 上に仮想的に複数の OS 環境を構築する Linux コンテナ技術と、それらコンテナを運用、管理するコンテナオーケストレーション技術、および、サーバーを必要としないサーバーレスアーキテクチャーがそれぞれ発展。サービス実行やサーバー資源の最適化が図られている。

- ・ CDN（Content Delivery Network）とインターネットオーバーレイネットワークの動向

CDN は本文中にもあるように可用性の確保に大きな役割を果たしており、セキュリティの面でも重要である。その CDN のサービスを支える技術がオーバーレイネットワークである。また、同時に高速通信網の整備も重要となる。

GoogleFASTER や、Akamai などの動向が注目される。

（4）科学技術的課題

アプリケーションやサービスさらにはモノ・ヒト・コトを連携させることで、新たなサービスやエコシステムを構築するための技術開発が引き続き必要となる。具体的には以下の課題が挙げられる。

- ・ WADL（Web Application Description Language）や RAML（RESTful API Modeling Language）を中心とした API コントラクトとそのテスト駆動開発
- ・ Web フックと HATEOAS などの先進的な取り組み
- ・ コードベースのインフラストラクチャーの理解と普及
- ・ モノ・ヒト・コトの Web API 化とマイクロサービス化の技術

Web API/ マイクロサービスを仲介、連携して新たなサービスやアプリケーションを構築する技術とその支援環境

- ・ サービス化の技術を応用し、社会全体におけるモノ・ヒト・コトの Web API/ マイクロサービスを仲介して新たな価値を創出すると共に、信用、セキュリティ、プライバシーを保証する技術。特に、わが国の強みである製造業などのサービス化による競争力強化、ならびに、生産性の向上が求められている 1 次産業などへの応用の研究開発。

（5）政策的課題

社会に存在するさまざまな構成要素をサービス化して利用を図るためには、その流通に向けた国際的な取り決めや、サービス化を創出していくための施策が必要となる。

具体的な政策的な課題は以下のとおりである。

- ・ 個人情報保護に関する国内法規制、国際的な取り決めに関わる外交方針、法規制以外のガイドライン等の制約

研究開発と新たなビジネスの創出を推進するための社会的な実証実験を可能とする制度、ならびに、規制緩和とリスクを軽減するための新たな法整備と規制のあり方を検討する必要がある。

- ・ 小規模 API 事業者の育成と保護、活性化

小規模事業者であっても優れたアイデアと技術を基に、価値の高い API の開発と提供

は可能である。大企業よりもスピーディーな事業展開を図れる可能性もある。こうした事業者が継続的に事業の展開を支援する方策が必要であろう。

- ・大規模 API 標準化の開発、流通支援、独占にかかわる監視

大規模 API の標準化や流通については、国内に限らず海外への展開も考慮しなくてはならない。そうした場合に、企業単独で行うのではなく、コンソーシアムや業界団体等による支援が効果的である。また、この団体にはより独占の監視といった役割も持たせるべきであろう。

- ・オープンソースのテクニカルコミュニティが提供する知見

オープンソースのテクニカルコミュニティは、多様な参加者のさまざまな知識を持ち、優れたソースや知見を持っていることが考えられる。この知見を API 開発のみならず、REALITY 2.0 実現に向けたモノ・ヒト・コトのスマートなサービス化の研究開発に取り込んでいくべきである。

(6) キーワード

API 管理、Apigee/Swagger、HTML5、JavaScript、サービスエクステンション、マイクロサービス、リナックスコンテナ、コンテナオーケストレーション、DevOps、OAuth、エコシステム、API、Web services、REST、servitization、component、IoT、CPS、cloud computing、crowdsourcing、smart manufacturing、smart city

(7) 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	△	→	基礎的な技術は米国のオープンソースが中心で、基礎研究の主導権は握れていない。規制緩和の動きも滞りがちでオープンイノベーションが起こりにくい。サービス化の基礎研究の活動は活発とはいえない
	応用研究・開発	○	↑	ベンチャービジネス、ネットワークビジネスを中心に応用開発は発展していて依然としてオープンな市場を形成している。海外のサービスを取り込んだ統合サービスや Apple、Google、Amazon、IBM などの海外ベンダーのプラットフォーム利用も可能である。一方で既存企業においては IT システムの変革やセキュリティポリシーの陳腐化が進み、システムの老朽化は激しく変化に対応できていない。 IoT などを対象とするサービス化に関する応用研究が活発化しており、さまざまな産業分野への応用も試みられている。
米国	基礎研究	◎	↑	シリコンバレーを中心に依然としてソフトウェアの主導権を握っている。オープンソースの開発も技術をリードしている。データの活用や人工知能の開発など先端研究も先行している。サービスのモデル化やオーケストレーション技術も米国発である。 政府の支援 ^{34),35)} や産業界での旺盛な需要もあり、サービス化の研究開発は活発である。
	応用研究・開発	◎	↑	基礎的な技術が、ビジネスのマネタイズに応用され資本市場を活性化している。スタートアップからユニコーン化する流れができています。多面的で広範な応用研究とシェアリングサービスなどの新たなビジネスの創出が見られる。
欧州	基礎研究	○	→	日本と同様に基礎的な技術分野で米国依存である。 IoT 分野での 30 を超える研究開発プロジェクトが進行し、活発に研究が遂行されている。

欧州	応用研究・開発	○	→	規制については国ごとにさまざまであるが個人情報を含むデータの取り扱いに制約があり、サービスの組み立てを難しくしている。また、米国を含んだ多国籍なビジネスモデルに課税するなどナショナルリスクは高い。 IoT 分野での研究の多くは応用研究を視野に入れているが、新ビジネスの創出は限定的である。
中国	基礎研究	○	↑	国内に閉じたインターネットであるために、先行事例を最大限模倣しながら先端技術の研究は進んでいる。 政府による Internet Plus プロジェクト ³⁶⁾ などの長期的なプロジェクトの中でさまざまな研究が行われている。
	応用研究・開発	○	↑	中国でインターネット人口が拡大し、国内の会社が世界的な大企業になるのに伴い、中国当局は検閲などを強化している。インターネットのグローバルの接続はファイヤーウォールで規制されており、実質的には利用できない。国際的なオーケストレーションプラットフォームには発展できない。 スリースターと呼ばれる、Alibaba、Baidu、Tencent や Huawei などを中心に応用研究への取り組みが活発となっている。また、多くのベンチャー企業が誕生している。
韓国	基礎研究	△	→	2014 年に IoT の研究開発に関するマスタープランを策定し、一定の研究開発が行われていると思われる ³⁷⁾ 。
	応用研究・開発	△	→	ホームネットワークシステムなど、特定ドメインでの実用化の研究、開発が盛んに行われているが、産業界全体への波及は不明である。

(注 1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

(注 2) 現状 ※わが国の現状を基準にした評価ではなく、CRDS の調査・見解による評価である。

◎ 特に顕著な活動・成果が見えている、○ 顕著な活動・成果が見えている

△ 顕著な活動・成果が見えていない、× 活動・成果がほとんど見えていない

(注 3) トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

(8) 参考文献

- 1) L. Richardson et al. RESTful Web APIs O'Reilly 2013.
- 2) Programmable Web
<http://www.programmableweb.com/>（2016 年 12 月 14 日アクセス）
- 3) HERE Maps for Developers: APIs for Solutions to Build Location-Aware Web and Mobile Apps
<https://developer.here.com/>（2016 年 12 月 14 日アクセス）
- 4) Freelancer .com ホームページ
<https://www.freelancer.com/developers>.（2016 年 12 月 14 日アクセス）
- 5) M. Vukovic et al. Riding and Thriving on the API Hype Cycle Comm. of the ACM Vol. 59 No. 3 Mar. 2016 pp. 35-37.
- 6) Philip Klauzinski, John Moore “Mastering JavaScript Single Page Application Development” Packt Publishing (2016/8/31) ISBN-10: 1785881647
- 7) Akamai Cloud Architecture
<https://www.akamai.com/jp/ja/resources/cloud-architecture.jsp>（2016 年 12 月 14 日アクセス）
- 8) Equinix Service Exchange
<http://www.equinix.co.jp/services/interconnection-connectivity/cloud-exchange/>

- (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 9) サイトに analytics.js を追加する
<https://developers.google.com/analytics/devguides/collection/analyticsjs/?hl=ja>
(2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 10) Apigee
<https://apigee.com/api-management/#/homepage> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 11) T. Espinha et al. Web API Growing Pains: Loosely Coupled Yet Strongly Tied J. of Systems and Software Vol. 100 Feb. 2015 pp. 27-43.
 - 12) apiary API Blueprint Version 1A9 (2016 年 12 月 14 日アクセス)
<https://github.com/OAI/OpenAPI-Specification/blob/master/versions/2.0.md>. (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 13) Open API Initiative Open API 2.0 Specification Sep. 2014
<https://github.com/OAI/OpenAPI-Specification/blob/master/versions/2.0.md>. (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 14) J. Gruber Markdown Version 1.0.1 Dec. 2004
<http://daringfireball.net/projects/markdown/>. (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 15) Swagger The World's Most Popular Framework for APIs.
<http://swagger.io/> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 16) Usergrid The BaaS Framework you run
<https://usergrid.apache.org/> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 17) IBM Mobile First Platform
<http://www-03.ibm.com/software/products/ja/mobilefirstplatform> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 18) What's a Webhook?
<http://sendgrid.com/blog/whats-webhook/> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 19) Fielding, Roy T. (20 Oct 2008). "REST APIs must be hypertext-driven"
<http://roy.gbiv.com/untangled/2008/rest-apis-must-be-hypertext-driven> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 20) 松尾豊「人工知能は人間を超えるか ディープラーニングの先にあるもの」, (KADOKAWA/ 中経出版, 2015)
 - 21) みずほ銀行 :Pepper を活用した、新しい店舗サービスの創造
https://www.mizuhobank.co.jp/mizuho_fintech/news/pepper/index.html (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 22) 櫻井豊「人工知能が金融を支配する日」, (東洋経済新報社, 2016)
 - 23) M. Biehl, RESTful API Design, API-University Press, 2016.
 - 24) K. J. Clark Integration Architecture: Comparing Web APIs with Service-Oriented Architecture and Enterprise Integration IBM DeveloperWorks Mar. 2015
http://www.ibm.com/developerworks/websphere/library/techarticles/1503_clark/1305_clark.html (2016 年 12 月 14 日アクセス)
 - 25) Uber Technologies Building Moving Experiences

- <https://developer.uber.com/> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 26) S. Meyer et al. Internet of Things-Aware Process Modeling: Integrating IoT Devices as Business Process Resources Proc. of CAiSE 2013 LNCS Vol. 7908 Springer Jun. 2013 pp. 84-98.
- 27) E. Mollick The Dynamics of Crowdfunding: An Exploratory Study J. of Business Venturing Vol. 29 No. 1 Jan. 2014 pp. 1-16.
- 28) R. Peers and S. Rana Embracing the Connected API Economy S. Chishti and J. Barberis (eds.) The Fintech Book Wiley 2016 pp. 253-257.
- 29) T. Edger et al. NSF Workshop on Research Needs in Advanced Sensors Controls Platforms and Modeling (ASCPM) for Smart Manufacturing Feb. 2015
https://smartmanufacturingcoalition.org/sites/default/files/smlc_nsf_workshop_report.pdf (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 30) J. Lee et al. Predictive Manufacturing System - Trends of Next-Generation Production Systems IFAC Proceedings Vol. 46 No. 7 May 2013 pp. 150-156.
- 31) L. Ramundo et al State of the Art of Technology in the Food Sector Value Chain towards the IoT Proc. of RTS 2016 IEEE Sep. 2016 pp. 6 pages.
- 32) F. Hu (ed.) Security and Privacy in Internet of Things (IoTs) CRC Press 2016.
- 33) 「FinTech 共通 API」、FinTech 企業との接続検証を実施
<https://www-03.ibm.com/press/jp/ja/pressrelease/50067.wss> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 34) A. Bruce et al. Internet of Things: Examining Opportunities and Challenges The White House Aug. 30 2016. <https://www.whitehouse.gov/blog/2016/08/30/internet-things-examining-opportunities-and-challenges> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 35) PCAST (The President's Council of Advisors on Science and Technology) Report to the President and Congress Ensuring Leadership in Federally Funded Research and Development in Information Technology Aug. 2015.
<https://obamawhitehouse.archives.gov/administration/eop/ostp/pcast/docsreports> (2017 年 3 月 1 日アクセス)
- 36) The People's Republic China The State Council Internet Plus.
<http://english.gov.cn/2016special/internetplus/> (2016 年 12 月 14 日アクセス)
- 37) Ministries of the Republic Korea Ministry of Science ICT and Future Planning Master Plan for Building the Internet of Things (IoT) May 2014 .
[http://www.iotkorea.or.kr/2013_kor/uploadFiles/board/KOREA-%20IoT\(Internet%20of%20Things\)%20Master%20Plan%20-%202014.pdf](http://www.iotkorea.or.kr/2013_kor/uploadFiles/board/KOREA-%20IoT(Internet%20of%20Things)%20Master%20Plan%20-%202014.pdf) (2017 年 1 月 12 日アクセス)

3.2.4 ソフトウェアデファインドソサエティのサービスプラットフォーム

(1) 研究開発領域の簡潔な説明

サービス構築の際に必要なコンポーネント（モノやヒト）を利用するためのサービスプラットフォーム構築に必要な技術。コンポーネントの検索・発見や、価値の再配分、認証認可技術やサービスのレベルを保証する技術も含む。また、現在のクラウド等のサービスプラットフォームに物理的なモノやヒト等が入ってきた時に必要となる技術。

(2) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

ソフトウェア定義技術を技術の核とする実体定義レンズによって、モノ・ヒト・コトといったコンポーネントを動的に組合せ、社会システムを構築する事ができる社会を、ここではソフトウェアデファインドソサエティと呼ぶ。本領域ではソフトウェアデファインドソサエティにおけるサービスプラットフォームを構築するために必要な技術についてまとめる。

[サービスプラットフォーム戦略]

従来のパイプライン型事業は原材料などを投入すると、プロセスを経て付加価値を生み出し、最終製品が出来上がるという価値連鎖を持っている。不動産や知的資産などの所有資源をもとに、調達から製造、保守まで全体の最適化によって最終顧客の生涯価値の最大化を図る。一方、プラットフォーム型事業は高価値の取引場を用意して、製品やサービスの作り手と買い手を引き合わせることで価値を生み出しており、主な資産は情報とインタラクション（取引、協働、交流など）である。資源は模倣や複製がしにくい個人やコミュニティが所有、拠出する部屋や車、運転やサービス、アイデア、情報などであって、それがプラットフォームの価値創造と競争優位の源泉である。クリティカルマスまで拡大するエコシステム全体価値の最大化と、フィードバックに基づく循環・反復型のプロセスが必要とされる¹⁾。

[サービスプラットフォームの課題]

プラットフォームは機能をネットワーク外部化し、サードパーティーの製品を利用できるようにすることで利益を生むモデルであり、プラットフォームの機能強化が欠かせない。例えばセキュリティソフトを無償化しながらサードパーティーのソフトウェアの安全な利用を提供するプラットフォームにおいて、ユーザーはサードパーティーのソフトウェアに誘引されながらもプラットフォーム自体の提供する機能である安全を必須のものと考えている。同様にアマゾンのユーザーは出品者から商品を受け取るが、アマゾンの電子取引システムを高く評価しているということはよく知られている²⁾。(図 3-2-5)

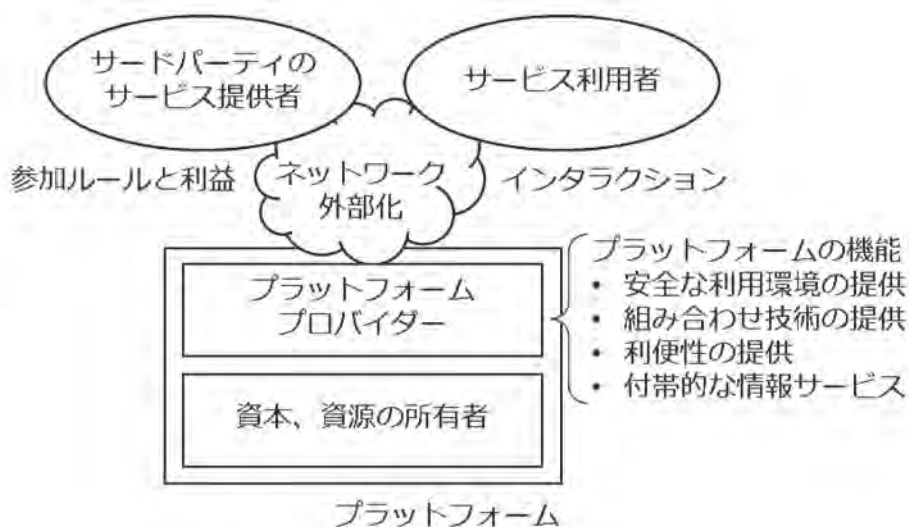


図 3-2-5. プラットフォームのネットワーク外部化

内部の最適化から外部とのインタラクションの価値を追求するプラットフォームの提供価値を維持することが重要

サービスは生産と消費が同時に起こる同時性、サービスの提供が終了すると無くなってしまいう消費性、触ることのできない無形性、提供価値が状況によって変化する変動性という特徴をもっている³⁾。サービスが取り扱う対象は、クラウドサービスのようなサーバーやストレージなどの実体をともなったものだけではなく、目に見えない信頼というような情報を電子的に取り扱うプラットフォームも出現している。Apple Pay のサービスでは、クレジットカード番号をモバイルインターネットでやりとりすることなく信頼できるやりとりをおこなうトークナイゼーションサービス⁴⁾が提供されている。サービスの価値は無形で変動性をもっているために計測や課金が難しい。どのサービスインスタンスがどれだけの価値を生み、利益配分されるべきかを決定するエコノミーの数学的なモデルは存在していない。クレジットカード番号のトークナイゼーションによって信頼を安全にやりとりすることで利益を得るのは Apple Pay、小売店、カード会社そしてユーザーの誰でどの割合なのか、数学的に決定できなければサービスは不透明で社会的に不均衡なモデルになってしまう。Uber や AirBnB などは資産を単純にシェアするだけのモデルではなく、ユーザー間の信頼や個人の車や住居を利用するという経験を取り扱う複雑なシェアリングエコノミーであるが、それらの価値の再配分や課金のプロトコルの定義はソフトウェアデファインドソサエティーの参考となりうる。また、サービスは提供されなければ価値が生まれず、サービス停止やスローダウンは収益につながらないため、サービスの継続性を担保することがビジネスにおいては大きな課題である。

[サービスプラットフォームにおけるユーザー動向把握]

プラットフォームの成長を促すグロースハック⁵⁾では、直接的な成長を表すユーザー、売り上げ、デジタルエクスペリエンスから捕捉したデータの質と量などの明確な KPI (Key Performance Indicator) をセットした成長のストーリーを描く必要がある。ユーザーエ

クスペリエンスのライフサイクル成長モデルである AARRR (Acquisition、Activation、Retention、Referral、Revenue) はよく参照されるが、データ分析によってユーザーの動向を把握できるフレームワークである (図 3-2-6)。

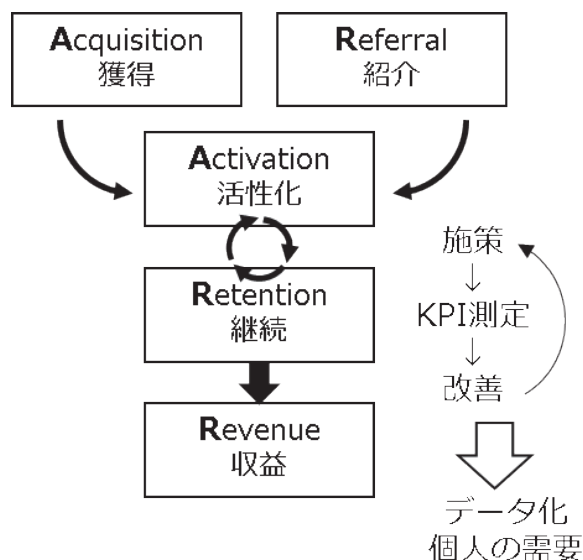


図 3-2-6. グロースハックのデータプラットフォーム

サイトの KPI の収集を通じてデータを収集し個人の需要を把握

サービスを開始する時の MVP (Minimal Viable Product) にメトリクス KPI を組み込んでおくことが循環・反復型のプロセスにとって重要である⁶⁾。ユーザーの抱える本質的な需要を把握する CPS のループバックはデジタルマーケティングの手法が用いられ、個人のプロファイルデータや需要動向を把握するプラットフォームを形成する。

[サービスオーケストレーションの原型]

オーケストレーション機能はクラウドコンピューティングの自動化プラットフォームに展開されてソフトウェアで制御できる仮想サーバーなどのシステムやミドルウェアの配備 / 設定 / 管理を自動化するソフトウェア定義環境の中核をなす技術要素である。過去 IT インフラストラクチャーの「見える化」で用いられたモニタリングシステムは、クラウド技術の導入により自律的なソフトウェア制御を実装することができ、故障や停止等のイベントに対して再起動、サーバー再配置、ディスク再接続など運用の自律化へと進展した。オーケストレーション機能は Chef や Puppet⁷⁾ などのサービスコンテンツを含む定義済みサービスインスタンスをコードベース⁸⁾ に管理できるツールと組み合わせることにより、システムの構造を設計構築するコンソールを提供する。オーケストレーションコンソールでは、期待するサービスを定義し組み合わせることでサービスプラットフォームを構築することができる。

また、オーケストレーション機能はパフォーマンスやキャパシティー、可用性などの非機能要件をポリシーに基づいて管理しサービスインスタンスの追加、拡張、再配置等を自動化することができる。これは、サービスの物理的実体を監視、モニタリングするという一方向であった情報の流れが、コードベースのサイバー空間において、設計構築したもの

が実体化されるといふ、設計主体に逆転していること示している。ソフトウェア定義を実現するコードベースの実体定義では「標準化された同じインターフェースの環境で実行されるソフトウェアは同じ結果をもたらす」という冪等性（べきとうせい）が重要である。冪等性とは、同じ操作を複数回行っても効果が変わらないことを指すが、冪等性の高い構造では同じソフトウェアが複数回実行されても結果に影響がない構成が実現されている。この方向は、サイバーとフィジカルの関係性が逆転しサイバー中心型の機能定義が有効であり、ソフトウェア定義技術によってサービス構築を可能とする実体定義レンズの機能要件であることを示している。（図 3-2-7）

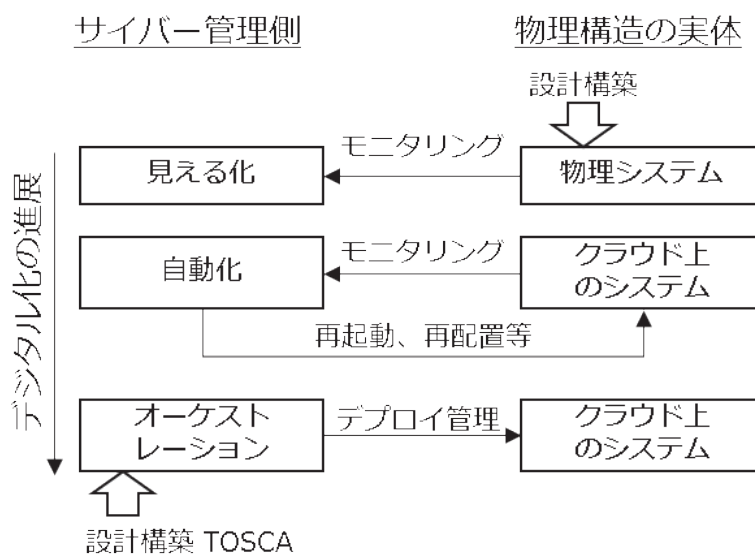


図 3-2-7. システム管理の変遷

システム管理はクラウド化を経て、オーケストレーション機能が導入され、サイバーと物理は逆転した。

OASIS TOSCA (Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications) はクラウドのオーケストレーションにおける仮想アプリケーションパターン標準定義機能である。TOSCA では冪等性を基本とした実体定義 =Artifact とアプリケーションサービスのモデルを定義するアプリケーション・アーキテクトをサービステンプレート上で統合する。サービスプラットフォームのサービスオーケストレーションを実行していく実体定義レンズの標準記述には同様の形式が必要になると思われる。

[サイバーフィジカルにおけるコントロールポイントの遷移]

IoT (Internet of Things) はモノやサービスが相互につながり合っている様を表しているだけではなく、モノやサービスが IT で実現される高度な制御システムによって統合されて支配される様を表している。モノがインターネットのように有機的なネットワークを形成した時にモノの振る舞いはどうあるべきかを考えるべきである。そういった意味で IoT は、「センサーを含んだシステムをモノの設計に組み込む」のでもなく「大量に存在しているセンサーのデータをリアルタイムあるいは蓄積してどう分析利用するか」というものだけでもない。サイバーワールドが提供する高度な制御システムの上でモノはどう設

計されるのか、それは自動車運航時のデータを収集分析して自動車自身の燃費改善をするという発想だけではなく、街区内の移動体すべての動きを制御することを目的として全体の制御システムが設計されその一つのコンポーネントとして自動車があるという逆転の発想が必要だ。エージェントベーステクノロジーが巨大なサイバースペースを構築できると考えられている。

[オーケストレーションプラットフォームによるスマートファクトリー]

日本の製造業は長らく、トヨタ生産方式の制約理論に基づいた一定の生産ペースを維持して効率を追求する生産方式を得意としてきた。そこから工程のスマート化をすすめ、デジタルの世界で収集したデータから得られた需要を製造工程にダイレクトに反映する、サイバーフィジカルシステムのフィードバックループの仕組みへと進化することで、需要に合わせた生産が可能になっていく。デジタルの世界で把握した需要に基づいて「何をいくつ作るか」を決定し、それに基づいて製造工程をつかさどるコントローラにダイレクトに指示を下し、生産過程をモニタリングしていく。こうした進化が進めば、サイバースペース上に構築されるソフトウェア定義による工場生産が実現される。サイバースペース上の仮想工場はオーケストレーションコンソールとなって各工程の動的な生産計画と動的な生産指図を高度に統合したコントロールセンターとなっている。Industrie 4.0 では生産管理、資源管理を担当するのが SAP 社であり、生産指図を展開する代表格が SIEMENS 社であり、その伝送路の標準規格に BECKOFF 社などがデジタルファクトリーにおける存在感を増している。(図 3-2-8)

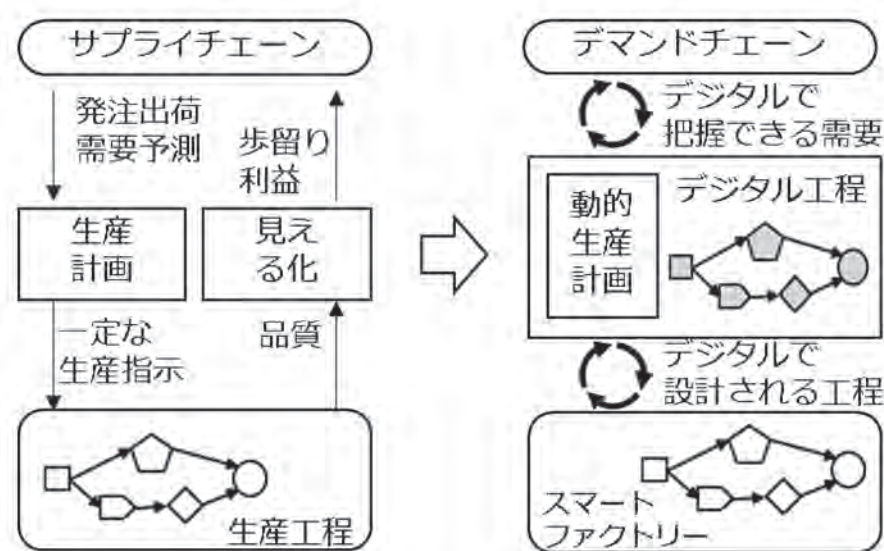


図 3-2-8. サイバーフィジカルシステム

これまでの一定の生産計画による高効率な大量生産のモデルからサイバー世界で把握できる個人の需要に即応できるデジタルで設計された工程がスマートファクトリーを駆動

この生産工程が社会に対してオープンになるとデジタルファクトリーのサイバースペースを有する企業が製品メーカー（OEM）となり、工程担当の製造工程はすべて社会で共有される Tier1 以下の製造サービス企業となっていく。これはファブレス生産に近い

Industrie 4.0 の理想像である。OEM のコアコンピテンシーは工場生産ではなくサイバー空間のオーケストレーション能力になる。製造工程は社会で共有されることで、自由な組み合わせが実現でき、また高品質な新製品や高機能なコンポーネントの開発など製造の自由度は飛躍的に向上する。Industrie 4.0 を推進するドイツ製造業は製造工程と製造指図を高度に統合するオープンインターフェースの策定に邁進しているが、日本製造業はこれまで培ってきたカイゼンのノウハウを生かし、連続した工程改善の流れのなかでオープンなオーケストレーションプラットフォームに進化する軌跡を描くことができる。（図 3-2-9）

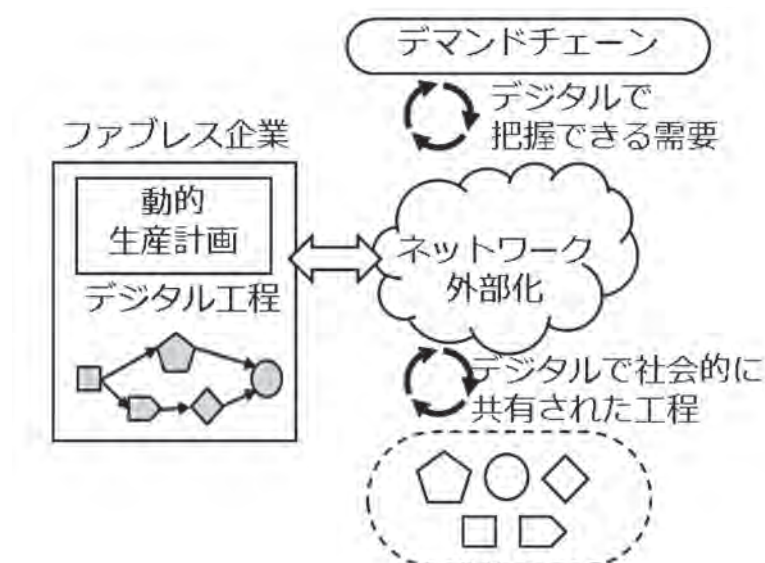


図 3-2-9. Industrie 4.0 や Industrial Internet はデジタルで共有された工程を作り出す

[API エコノミー]

自社のサービスに他社が提供するサービスを組み込む、あるいは連携することで新しい価値創造を実現することが API エコノミーであり、次のような類型がある。(1) 自社データとサービスの利用を API 経由で可能にするもの。(2) 自社サービスを他のサービスに連携することでユーザーを誘導するなどの効果を得るもの。(3) データや共通機能などのプラットフォーム機能を提供してサードパーティーのサービスに付加価値を与えるもの。(4) 複数のサービスを組み合わせる新しいサービスや商圈を生み出すもの⁹⁾。

複数のサービスを組み合わせる API エコノミーの例として cars.com¹⁰⁾ という実在の Web サイトがある。ユーザーは Web サイトからさまざまなメーカーの車を購入できる。車を選んだり、最寄りのディーラーを探したり、自動車ローンや保険を選んで契約することができる。しかし cars.com が自ら開発したのは情報を統合するための枠組みであり、ほとんどの機能を外部 API に依存している。ローンを提供している銀行の視点からすれば自動車ローンの利用者を獲得するために提携しているが、住宅ローンもあれば財務管理の API も提供しているのでユーザーには統合的な財務管理、分析機能をサービス化することができ API を公開することでビジネスチャンスが大きく拡大できる¹¹⁾。

API エコノミーにはそれぞれ課金モデルがある。API 利用者が便益に見合った額を支払う形態と、アドテクのように利用者が API を利用することで API 提供者に便益が生じ

るため、API 利用を無償にするか、または費用を API 提供者が負担するというモデルも存在している。サービスの価値は一般的に同様のサービスに比較して支払う価値がある金額で決定される³⁾。こうしたプラットフォーム型のような中間サービスの場合には、最終サービス提供者の価値に依存してしまうためサービスの価格に変動性が生じる。単体の市場価格だけでは決定しない API エコノミーの変動性は最適価格決定の不透明さにつながる。

[サービス提供条件の統合と合意に基づく認証認可処理]

API の提供者側は提供者側の理論で多くの制約と免責事項を利用条件としている。このため提供されるサービス条件を判断し、サービス間の提供条件の差異を埋め、統合する作業は困難を極める。多国言語によって提示される提供条件を自動的に判断し、プラットフォームが統合的なサービス提供条件を計算する人工知能などを活用したシステムが必要である¹²⁾。そのなかでは、法規制、コンプライアンス、倫理的文化的制約なども同時に判断される必要があり、実体定義レンズがサービスを自動的に統合するためには機械処理が必要である。エンドユーザーは容易に統合の経緯を知り得るべきであるし、個人データ利用の範囲と制約についても演算可能であるべきである。プラットフォームではユーザーの参加を認めるための与信等を加えた認証認可条件をすべてのサービスの論理積として満たす必要があり、フェデレーションを超えた処理が必要となる。

規制緩和のバランスは重要である。新しいサービスインスタンスが社会的に既存規制に阻まれることで、統合されたプラットフォーム上での統合もできなくなる。Uber は白タク規制に関わる問題であるが、Uber は単なる配車サービスではなく個人の所有する高級車を持ち主と共有するエクスペリエンスを提供しているのであって、運輸業のサービスコンポーネントは極めて少ない。一方で規制地域での民泊など規制しきれない課題に対しては、なし崩しの規制緩和が引き起こされやすい。

[ゼロトラストセキュリティの普及]

セキュリティの考え方にも革新が必要である。これまでのようにファイヤーウォールで隔離・分離するだけのネットワークセキュリティでは巧妙化するサイバー攻撃や近年発生しているような内部犯行に対抗することができない¹³⁾。セキュリティ研究で有名なパロアルト・ネットワーク社は「検証して、信頼しないことを基本とする＝ゼロトラストネットワークセキュリティ」¹⁴⁾を提唱している。それには、多層防御・監視検知・セキュリティインテリジェンスという三つの機能群が必要になる。また、重要情報の管理について記憶装置の暗号化や DB オペレーター、管理者権限の発行を厳密に管理し全てのアクセスや管理操作の記録を採取することで事件事故の初動対応を助ける基盤を構築する。サイバーセキュリティを常に念頭に経営層を巻き込んだ管理体制を敷いておくことで、サイバーチャネルはユーザーや地域から信頼される活動の拠点となることができる。また、信頼できるチャネルであるからこそデジタルライフをサイトに全面的に任せることができるようになる。サイバーセキュリティは大きな安心と信頼を確保する前提である。

（3）注目動向

下記に挙げるように、プラットフォームを介したサービスの構築や産業の変革に向けた動きが進められている。

- ・API エコノミーによる複数のサービスやシェアリングエコノミーの連携

（2）で上述したように、他社が開発したサービス（API）を統合することにより、新たなビジネスを創出する API エコノミーや、自動車や居住空間等やサービスをシェアするシェアリングエコノミーが台頭している。

- ・SNS などの情報インタラクションの価値化（プロフィールによる広告など）

SNS などにおいては個人のコミュニケーションや行動といった情報のインタラクションを分析可能である。これにより個人の興味関心や価値観をプロファイリングし、それに基づいた製品やサービスの広告を掲載可能となっている。こうした広告は、対象を限定できるために効果的であり、情報のインタラクションに価値が生まれている。

- ・プラットフォームとして提供するサービスの機能と価値が明確化

プラットフォームとして提供するサービス（PaaS）の実施が進んでいる。PaaS ではアプリケーションの開発と実行環境の両方を提供するため、開発の期間やコストの削減が可能であり、即座の対応も可能である。

- ・グロースハックなどデータに基づくデジタルマーケティングの進化

KPI の測定と改善、施策を繰り返しサービスを改善していくグロースハックのデータプラットフォームからユーザーの動向やプロフィールを把握するといった、デジタルマーケティング手法が出現している。

- ・スマートファクトリーと Industrie 4.0/Industrial Internet の発展

製造工程に CPS のフィードバックループを取り込むことで個人の需要に合わせた生産を可能とするスマートファクトリーが出現。さらに、Indutrie 4.0 では工場をサイバー空間を通じて接続し、仮想的な生産工程の実現を目指す。これによりさらに高品質、高機能な製品の動的な製造が可能。

Industiral Internet では、産業機器のモニタリングを通じて効率的な運用管理を行うシステムを開発。企業と機器の使用情報の共有により、効果的な資産活用方法を検討しコスト削減につなげようとしている。

（4）科学技術的課題

ソフトウェアデファインドソサエティーにおいてサービスを構築するために、サービスの価値の定量化やサービスを連携するための技術が必要となる。

具体的には以下のとおりである。

- ・無形で揮発性のサービスドミナントな価値を定量化できるモデルの構築

物理的に存在する製品（モノ）と異なり、無形で保存ができない（揮発性）といった特徴を持つサービスについて、適切に市場で取引を可能とするために価値を定量化できるモデルの構築が必要

- ・サービスをソフトウェア定義しオーケストレーションする技術の開発

モノ、ヒト、コトのインターフェースや機能の差異を吸収し、その挙動をソフトウェア

で定義、制御するとともに、運用管理まで行う技術。

- API エコノミーの適切な権限管理を行う高度なフェデレーションのための標準
API エコノミーに参加する利用者に対して、API 利用についての権限管理を行う認証の標準の策定
- 複雑な利用条件を法規制、コンプライアンス、倫理的文化的制約などと統合する処理
ソフトウェアデファインドソサエティーでは、プログラムからなる API だけでなく物理的なモノ、ヒトの利用、提供のやりとりがネットワークを介して行われる。これらの利用に当たって、既存の法規制や、コンプライアンス、提供される国や地域における文化的制約を統合的に考慮した上でサービスを提供する必要がある。

(5) 政策的課題

ソフトウェアデファインドソサエティーでは、新たなサービスの創出が容易となることが想定されるが、それに向けては既存の規制の緩和と規制導入の検討や、価値の再配分の透明性、公平性を担保する事が必要となる。また、既に標準化やプラットフォーム構築が進められている動きとの連携が求められる。

- 規制緩和と新たな規制の必要性

既存規制により新たなサービスの創出が阻まれるという損失や、サービスプラットフォームによるなし崩しの規制緩和が生じないように、ソフトウェアデファインドソサエティーに適切な規制緩和が求められる。

一方、民泊に投機的不動産投資が参入したり、地域コミュニティが破壊されるといった本来サービスプラットフォームが目的としていないことがらに対する新規制の導入も必要となりうる。

- 価値の再配分の透明性、公平性を担保するしくみ

ソフトウェアデファインドソサエティーのサービスプラットフォームでは、資産のシェアだけでなくユーザー間の信頼や、ユーザーエクスペリエンスを取り扱う複雑なシェアリングエコノミーを提供する。この維持発展には、参画するステークホルダー間において、価値の再配分の透明性、公平性を担保する仕組みが重要となる。

- Industrie 4.0 や Industrial Internet との協働推進

Industrie 4.0 や Industrial Internet は国や地域、企業の枠を超えて、製造業やサービスの連携や、それに向けた標準化、プラットフォーム構築を進めている。わが国でもこうした動きとの戦略的な共同推進を図るべきである。

- 製品開発だけではなくサービス開発を経済的に支援し、加速させる仕組み

(6) キーワード

サービスプラットフォーム、サービス・ドミナント・ロジック、グロースハック、オーケストレーション、ゼロトラストネットワーク、認証認可フェデレーション、利益再配分モデル、Industrie 4.0

（7）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	△	→	サービス研究、データ分析技術等は進んでいるが普及に至らない。API、オーケストレーション、セキュリティに関わる基礎的技術は米国等の先進技術に依存している。
	応用研究・開発	○	↑	プラットフォーム機能は専門化、委託化という側面が広く受け入れられる一方でシェアリングエコノミーのような新しい経済モデルには規制が多い。個人情報のプライバシー保護以外の側面が議論されない。Industrie 4.0/Industrial Internet は脅威と感じており、追従の動きはある。
米国	基礎研究	◎	→	シリコンバレーを中心に依然としてソフトウェアの主導権を握っている。オープンソースの開発も技術をリードしている。データの活用や人工知能の開発など先端研究も先行している。API のモデル化やオーケストレーション技術も米国発である。
	応用研究・開発	◎	→	IBM/Microsoft などエンタープライズ IT が API 管理などのコンポーネントや先進事例で先行している。プラットフォーム事業も隆盛を極め、製造業では GE Predix が高いプラットフォーム機能で注目を集めている。
欧州	基礎研究	◎	→	Industrie 4.0 を中心に生産管理/BOM、PLM、PLC などの技術標準とオープンな接続など標準先行して進んでいる。
	応用研究・開発	○	→	IoT というカテゴリーで PLC 接続標準化が先行しているが、標準先行しているので Predix に比較してプラットフォーム機能のネットワーク外部化は進んでいない。
中国 韓国	情報なし			

（注 1） フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

（注 2） 現状 ※わが国の現状を基準にした評価ではなく、CRDS の調査・見解による評価である。

◎ 特に顕著な活動・成果が見えている、○ 顕著な活動・成果が見えている

△ 顕著な活動・成果が見えていない、× 活動・成果がほとんど見えていない

（注 3） トренд

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

（8）参考文献

- 1) Marshall W. Van Alstyne, Geoffrey G. Parker, Sangeet Paul Choudary “Pipelines, Platforms, and the New Rules of Strategy” Harvard Business Review, April 2016 Issue (2016 年 12 月 15 日にアクセス)
<https://hbr.org/2016/04/pipelines-platforms-and-the-new-rules-of-strategy>
- 2) Andrei Hagiu and Simon Rothman, “Network Effects Aren’t Enough” Harvard Business Review, April 2016 Issue (2016 年 12 月 15 日にアクセス)
<https://hbr.org/2016/04/network-effects-arent-enough>
- 3) 藤川 佳則, 「サービス・ドミナント・ロジック『価値共創』の視点からみた日本企業の機会と課題」マーケティングジャーナル Vol. 27, No. 3, pp. 32-43 (2008).
- 4) IBM Japan, “Apple pay がもたらす変革” (2016 年 12 月 15 日にアクセス)
<https://www.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=LBW03048JPJA>
- 5) ライアン・ホリデイ (著), 佐藤 由紀子 (訳), “グロースハッカー” (日経 BP, 2013).
- 6) Steven G. Blank, “The Four Steps to the Epiphany” (2016 年 12 月 15 日にアクセス)

- http://web.stanford.edu/group/e145/cgi-bin/winter/drupal/upload/handouts/Four_Steps.pdf
- 7) Kief Morris, “Infrastructure As Code: Managing Servers in the Cloud” (Oreilly & Associates, 2016).
 - 8) Twelve-Factor App, “コードベース” (2016 年 12 月 15 日にアクセス)
<https://12factor.net/ja/codebase>
 - 9) 山際 貴子, “API が黒子から主役に ?!” (2016 年 12 月 15 日にアクセス)
<https://www.change-makers.jp/business/10787>
 - 10) Cars.com (2016 年 12 月 15 日にアクセス)
<https://www.cars.com/>
 - 11) 田口 潤, “API が価値・利益を生む時代が到来、「API エコノミー」の実像” (2016 年 12 月 15 日にアクセス)
<http://it.impressbm.co.jp/articles/-/11713>
 - 12) Steve Danielson, “API Management とは” (2016 年 12 月 15 日にアクセス)
<https://docs.microsoft.com/ja-jp/azure/api-management/api-management-key-concepts>
 - 13) サイバーセキュリティ .com, “サイバー攻撃が増え続ける 5 つの原因” (2016 年 12 月 15 日にアクセス)
<https://cybersecurity-jp.com/cyber-security-guide/4-five-causes-of-cyber-attacks-continue-to-increase>
 - 14) パロアルトネットワークス 株式会社, “ネットワーク セグメンテーションへのゼロトラスト アプローチ” (2016 年 12 月 15 日にアクセス)
<https://www.paloaltonetworks.jp/solutions/initiative/network-segmentation.html>

3.2.5. REALITY 2.0 による社会デザイン

(1) 研究開発領域の簡潔な説明

複雑な社会の課題を REALITY 2.0 の枠組みを使って解決していくためのデザイン学を中心とした領域。社会課題の具体的な解決方法とそのシステムのデザインを研究し、解決のための知識の創出を行う。社会実装のための制度設計や社会受容性に関する社会科学、人間科学的研究も重要となる。また、解決方法が与える社会的効果、経済効果などの研究が必要である。さらに、社会受容性や解決方法の効果を実測するための実証型研究など、多面的な学術領域を複合した研究領域となる。

海外主要国は CPS/IoT について、主として産業振興として捉えている。リアル世界とサイバー世界がシームレスに融合する REALITY 2.0 というコンセプトは、その意味で先進的なものであると言えよう。本章では主要国の政策動向を概観した上で、REALITY 2.0 に向けた方向性を示唆する注目動向、科学技術・政策的課題を踏まえ、どのような社会システムを構築していくかについて、シナリオの方向性を示している。

(2) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

REALITY 2.0 は、現状ではその方向性が示唆されている「コンセプト」である。タンジブルなリアルの世界とバーチャルなサイバーの空間がシームレスに融合・一体化した REALITY 2.0 という世界の本質は、暮らしや仕事など、われわれの生活空間「全体」の意識なき拡大とみることができる。

この REALITY 2.0 による社会のデザインに向けて、従来の IoT 技術、CPS (Cyber Physical System) や Smart City 開発活動においては、単一のシステムや単一のサービスの中での効率的なサービスが開発されてきた。

具体的な事例としては、Uber に代表されるカーシェアサービスや Airbnb に代表されるルームシェアサービスなどがある。これ以外にも、ビル内での電力利用の最適化や 1 企業グループ内でのサプライチェーン最適化が行われている。

これらの取り組みは、ヒトも含めて社会において遊休資源（リソースとなっている機能）を効率的に活用することや、無駄なリソースを効率化していることに相当する。このように個人（ヒト）の効率的な活用や 1 企業内のシステムの効率化は進められているが、社会システムは複雑かつ、個々の部分システムの相互依存性が強く、都市や国全体の最適化は非常に難しい問題である。

また、企業内や地域内では、ガバナンスが利きやすいため、社会リソースの制御は可能であるが、複数企業にまたがったシステムや複数地域、例えば国全体でのシステムは、ステークホルダーも多く、実現が困難である。

このような複雑な社会問題を解くという目的で、社会デザイン、社会システムデザイン、デザインアプローチなどの学術分野の研究が発展しつつあり、CPS や IoT の進展とともに社会への適用がされることで REALITY 2.0 による社会のデザインが進展していくと考えられる。

ここでは将来的なユースケースとして以下のようなⅠ～Ⅲのシナリオを想定した。それぞれ「とくべき社会課題」と REALITY 2.0 が「実現した時の効果」を挙げている。

シナリオⅠ：総合モビリティマネジメント

〈解くべき社会課題〉

世界的な都市化が進展するとともに、都市の間での競争が激化する。人、モノのスムーズで、効率的な移動が都市の競争力の源泉になる。逆に渋滞による経済損失が都市の重要課題となる。ただし、都市における移動は、多様なモダリティ、移動体の組み合わせで構成され、複雑なシステムとなり相互作用が大きくなる。自動車の利用依存は都市に住む人の健康にも影響を与える。

〈実現した時の効果〉

- (ア) 渋滞・遅延なく目的地に快適に移動を実現
- (イ) 社会全体での移動に要するエネルギーや排出する温暖化ガスを最小化
- (ウ) 通勤、通学、通院など移動目的と連動した交通サービスの実現
通院の場合は、交通状態を加味して診療予約、時には遠隔診療も組み合わせ、通勤の場合には、業務予定に合わせて、サテライトオフィス、テレワークも組み合わせ交通サービスを提供
- (エ) 電車、バス、タクシー、フェリー、カーシェアリング、自転車、徒歩を、個々の通勤者の価値観、目的、健康状態など多様な状況を尊重し、全通勤者の移動を最適化
- (オ) 交通のみならず、物流にかかわる移動も最適化。適時に適切なモダルの組み合わせでの収集、配送。目的地への配送のみならず、確実に預かり、確実に受け取っていただくサービスを実現
- (カ) 物流では、サービス企業ごとに車両などの移動リソースを保持。シェアリングなどにより、社会全体でのリソース利用の最小化
- (キ) 災害発生時には、集中による遅延や事故を防ぎながら確実な避難を支援。発生後には、インフラなどの破損箇所を回避して、生活の質を確保する最大限の移動サービスを実現（物流、医療の提供）
- (ク) 疫病発生時は、擦れ違いなどによる伝染履歴をトラッキングし、最小限の時間で感染者、潜伏期間感染者の特定による感染拡大を防止

シナリオⅡ：生涯人材育成、人材活用サービス

〈解くべき社会課題〉

少子高齢化に伴い社会福祉費は増大し続けている。一方、AIの発展に伴う働き方の変化や既存産業の衰退と新産業の発展のために新たな仕事への転換が進んでいる。また、多様化する脅威や犯罪のグローバル化に合わせた社会規範の急速な変化も起きている。こうした社会の動きに追従していかななくてはならない。

〈実現した時の効果〉

- (ア) 教育機関において個人の学習履歴を管理可能（ただし、個人情報保護技術は必須）
- (イ) 学習理解度や学習に関する癖を利用して、個人ごとに最適なカリキュラムを提供（補修、家庭学習）

- (ウ) 卒業後も、就業する業務に関する人材育成でも、上記適応教育(トレーニング)サービスが実現
- (エ) 学習履歴、推定されるスキルや個人特徴に合わせて、ジョブオファー。人材リソースを、企業、組織内に閉じ込めるのではなく、才能、知識やスキルをベースに、組織間、企業間で人材のシェアが可能に。組織内失業を回避し、個々人がさらに活躍できる社会が実現
- (オ) 高齢者にも、体力、経験、知識、ノウハウなどに合わせて、少々のトレーニングを経て、就業機会を提供。遠隔業務や、ロボットを活用して、体力消費を最小限で、社会での活躍機会を創出
- (カ) 日常生活を、健康で快適、快活に楽しめるような Tips の学習や、趣味をセミプロ並みに伸ばす日常トレーニング、ノウハウ学習を提供可能
- (キ) 生活習慣病対策等、個人に対する生活指導なども強く連携可能

シナリオⅢ．総合エネルギーマネジメント

〈解くべき社会課題〉

従来のエネルギーマネジメントは、施設内の電力マネジメントが中心であり効果は施設内に限定されていた。これを都市全体、社会全体のエネルギーマネジメントに広げていくことで、地球規模の環境問題、資源問題の解決につながる。エネルギー消費は、都市基盤としての交通や水、快適なオフィス、住環境の提供と関係するため、安定な都市基盤の提供には、エネルギー利用の平準化と利用最小化が必須となる。また、これらは、電力だけでなく、ガス、ガソリン、熱などのエネルギーも統合して管理することが必須となる。

〈実現した時の効果〉

- (ア) 電力だけでなく、ガス、ガソリン、熱源を総合マネジメント実現
- (イ) 電力を消費する機器の制御はもちろん、発生する熱源、熱排出の制御による省エネ化の実現
- (ウ) 交通などの移動は最大のエネルギー消費を行うものであり、移動と合わせて制御する。需要を予測することで、不要な車両を削減して、エネルギー消費とサービス品質のバランスの最適化
- (エ) 水などのユーティリティの生成と配送は、ポンプを中心に大きなエネルギー消費があり、水は蓄積可能であることもあり、比較的時間的融通が利くエネルギー消費。他のエネルギー消費予測を参照しながらの制御を可能とし効率的な利用を実現
- (オ) 熱エネルギーは、再利用、熱輸送を制御して、電力消費、ガソリン消費を低減（家庭やレストランなどは、クーラー、冷蔵庫、調理器具の統合制御が必要。排熱を、昇熱、熱輸送すれば、調理や工場で熱源にもなる。）

上記ユースケースシナリオのとおり、REALITY 2.0 は産業のみならず、ヒトの生活そのものを包含する、従来の CPS/IoT より大きなコンセプトとして捕らえる事が可能である。

対して、現在の、CPS/IoT は、文字とおりサイバーの世界と、物理的なリアル世界の融合ということを意味しているが、以下でみるとおり「産業競争力の強化」という文脈で使われることが多い。REALITY 2.0 のような観点で CPS/IoT をみている例は世界でもまだほとんどないと思われる。

諸外国の動向としては、CPS という言葉の起源である米国政府は、IoT という言葉を使わず、その意味で CPS を使っているが、主として産業分野における競争力強化ということを目적으로してきている。例えば NSF (National Science Foundation) の CPS への取り組みについて、その適用分野は農業、エネルギー、輸送、ヘルスケア、製造業といった産業分野に関わる内容に言及されている¹⁾。さらに、オバマ大統領 (当時) が 2011 年に打ち出した Advanced Manufacturing Partnership (AMP) は、米国の製造業の競争力を高めるための産官学をまたがる施策であるが、その中でも CPS への取り組みが推進されている²⁾。また、2013 年 12 月より始められた Smart America Challenge は、同じく大統領による産官学共同のイニシアチブであり、CPS による雇用・新ビジネス創出等の社会経済的便益が、どのように生まれるかを実証的に行う取り組みである。この取り組みは 2014 年に都市やコミュニティにおける CPS/IoT 実証にフォーカスを当てた Global City Teams Challenge に移行している³⁾。都市での生活という面では産業主導からやや離れた感があるが、産業ソリューション等が都市生活にどのように使えるか、という観点のため、リアルとサイバーの融合という観点に至っているとは言い難い。

米国政府は上述のように、CPS/IoT 推進に向けたさまざまな取り組みを行ってきているが、政府主導というよりも、GE 社の Industrial Internet Consortium (IIC) などをはじめとする民間企業やベンチャー等による新しい動きを支援する、という姿勢がみられるものである。

欧州においては、ドイツにおける IoT の取り組み Industrie 4.0 が既によく知られている。これは製造業の競争力強化という色彩を強く打ちだしているものである。また、Industrie 4.0 の他、スマートサービス、データ、クラウド、エネルギー、バイオ、農業、ライフ、教育、労働環境、人材育成、スマート医療、スマートモビリティ、など多様な分野でデジタル化を促進している。産業界、企業、大学、研究機関の連携として、Fraunhofer や DFKI (ドイツ人工知能研究所) が基礎技術面ではけん引し、機械や製造設備の接続標準化を進めている。こうした取り組みの中で、特に Siemens、SAP ら有力企業が実用化を推進している。政府主導の動きが大きく、米国のように民間主導の動きを政府が支援するという方向性とは異なっている。

イギリスにおいては、2014 年 3 月に IoT への注力が政策的に示された。ドイツの展示会 CeBIT でイギリスのキャメロン首相 (当時) は、IoT について、ドイツとの協力を進めていくことを表明、合わせて IoT 分野へのリサーチ予算として 4500 万ポンドを追加し、トータルで 7300 万ポンドとすること、100 万ポンドの European Internet of Things Fund を創設することなどを発表した⁴⁾。さらに IoT に関する産官学を巻き込んだ総合的な支援プログラムである IoTUK を創設するとした。この IoTUK は、IoT 技術の実用性を検証する都市の選定、新たな端末やネットワークのセキュリティー、信頼性に関するリサーチ・ハブの創設、ヘルスケアにおける IoT 技術のテストベッドの設置等、IoT の実証

に向けた支援を行うものとなっている⁵⁾。このような英国の取り組みは、同じ欧州でもドイツのような製造業中心のものよりも、やや幅を持ったものといえることができる。

欧州全体としての IoT への取り組みも進められている。欧州委員会（EC）は 2010 年に定めた経済戦略 Europe 2020 に基づく ICT 戦略として Digital Agenda for Europe 2020 を 2014 年に発表している。この戦略の中では、IoT を含む ICT 分野の研究開発の重要性が示されている。研究開発の強化については、2014 年に創設されたファンディング・プログラム Horizon 2020 では新世代要素技術・システムの中で、スマート・サイバー / フィジカルシステム、スマートエニシング・エブリウェア・イニシアチブなどが対象となっている⁶⁾。さらに、産業界を含むさまざまな IoT にかかるステークホルダー間の緊密な連携を図るべく、2015 年には Alliance for Internet of Things Innovation (AIOTI) が設立されている⁷⁾。さらに、IoT Forum を中心に IoT の基礎技術の開発から応用開拓まで推進しており、この中で特に国際標準化が推進されている。また、Smart City は大きな目玉であり、スペインサンタンデル市をショーケースとして IoT を活用した多様な社会システムの開発、統合化が進められている。

中国では IoT のことを物聯網（ブツレンモウ：ウーレンワン）と呼び、2009 年 8 月に当時の温家宝首相が「物聯網技術を強化すべき」と発言して以来、政府文書によく登場することとなった。

2015 年の政府活動報告では、中国製造 2025 とインターネット +（プラス）という、IoT を中心にした国家戦略構想が打ち出された。中国製造 2025 は、製造業にフォーカスしたものとなっており、ドイツの Industrie 4.0 の影響を強く受けたものとみることができる⁸⁾。インターネット + は、行動指針であり、インターネットをサービス領域から生産領域へと展開、経済発展に新たな優位性と新しいエネルギーを与えることを目指すとしている。本行動指針では、製造業、農業、エネルギー、金融、物流、交通、環境、人工知能など、11 の領域を重要な行動領域としている⁹⁾。

ICT インフラ先進国である韓国でも、IoT は重点育成分野として捉えられている。2015 年 3 月に未来創造科学部により発表された K-ICT 戦略は、2020 年までに ICT 生産額を 240 兆ウォン、輸出 2100 億ドルを目指す経済成長戦略であり、戦略育成分野のひとつとして、IoT が指定されている。大規模 IoT 実証団地の整備、ベンチャー育成、その他の実証実験などが推進されることが決められている。

さらに、IoT に特化したものとしては、2014 年にモノのインターネット（IoT）基本戦略、2015 年にモノのインターネット拡散戦略が未来創造科学部より発表されている基本計画では IoT プラットフォーム開発、IoT 専門ベンチャーの育成、技術開発促進等が定められている。拡散戦略は基本計画達成を速やかに行うための補完的政策となっており、2017 年までに製造、ヘルス / 医療、エネルギー、ホーム、自動車 / 交通、都市 / 安全といった 6 分野での IoT 事業化を支援するものとなっている。未来創造科学部は、K-ICT 戦略の実現に向け、2016 年中に、IoT 実証実験団地に加え、各種の実証実験を進める予定となっている¹⁰⁾。韓国の場合は、官民上げての IoT を盛り上げていこうとしており、さらに実証実験も積極的に進めているのが特徴的である。

韓国と同様、IT 先進国と言われるシンガポールでは国を挙げて Smart Nation を推進している。シンガポールの国家自体をショーケースとしながら IoT 技術を誘致、国家イ

ンフラの開発と輸出を実現しようとしている。

先端技術や Fintech を中心とした中小企業の育成、高齢化社会への対応として高齢者支援と高齢者自身による互助システム、健康促進支援の仕組みの実現や、交通・物流流通システムの高度化の他、水害やテロ対策など安全社会の確立にも取り組んでいる。

また、国立研究所 A*Star 傘下の Institute of Infocomm Research、Institute of High Performance Computing、国立シンガポール大学、南洋工科大学、シンガポールデザイン工科大学、シンガポール経営大学が基礎面で研究を推進。

社会システムデザインという観点では、iDA (Infocomm Development Authority) が推進している。

我が国では、2016 年 6 月に日本再興戦略 2016 が閣議決定、公表された。日本再興戦略 2016 は、サブタイトルに「第 4 次産業革命に向けて」とあるとおり、経済成長を主眼としたものであるが、いわゆる製造業のみにフォーカスを当てたものではない。IoT については、健康・医療、防災・災害対応、おもてなし、などに加え、人材育成に向けた施策も含められている。また、第 4 次産業革命により、新たなビジネスの創出が行われる一方、既存の社会システム、産業構造、商業構造を一変させる可能性も指摘されている¹¹⁾。国家政策であるため、産業振興の色彩は強いが、おもてなしなど、日本独自の視点が組み入れられている点は特徴的である。

我が国を含め、主要国の CPS/IoT にかかる政策動向は上述のとおり、産業振興という色彩が強く、リアルとサイバーの融合により、ヒト・モノ・コトの表裏にかかわらず変革が起こるであろう、とするものは現状ではない。政策は先進的な事象の後追いをするという傾向があり、事象の面では、既に REALITY 2.0 に向かっている方向性を示すものが現れてきている。これについては以下の「(3) 注目動向」の項で説明する。

(3) 注目動向

REALITY 2.0 ではさまざまなものがサービスとして提供されることになる。これは「あらゆるもののサービス化」と呼ぶことができる。サービスは基本的に利用するものであって、所有するものではない。これはクラウドコンピューティングの隆盛がもたらした「所有から利用」の流れを、現在進行しつつあるシェアリングエコノミーが加速、さらに REALITY 2.0 の世界に結びついていくという見方でもある。

クラウドコンピューティング隆盛以前は、あるサービスを提供したいと思う事業者等がいれば、その事業者等は、自らシステム等を用意する必要があった。クラウドコンピューティングの出現と隆盛により、サービス提供事業者は、自らはシステムを所有することなく、クラウド事業者のサービスを利用すればよくなった。これにより事業参入のハードルは下がり、事業規模の拡大・縮小に対して、非常に柔軟な形で対応することができるようになったのである。

このクラウド化の流れは、さまざまなものをサービス化することに繋がった。例えば従来は PC などの端末に添えつけられていたストレージは、Dropbox などといったクラウドストレージ・サービスに変わっている。また、書類を管理するアプリケーションは、Evernote のようなクラウド型サービスが登場し普及している。さらにユーザー認証につ

いても、クラウドと API（Application Programming Interface）を活用することで、サービス提供事業者自身が認証システムを構築せずとも、Facebook や Google のアカウントと認証機能をサービスとして利用できるようになっていく。

こうしたサービス化の流れと、ソーシャルメディアの隆盛による評判の可視化、インターネットを活用した広範なマッチングが相まってシェアリングエコノミーが加速しつつある。シェアリングエコノミーの代表格である Uber は Uberization（ウーバライゼーション）という言葉をも生み出し、一つの社会現象となっている。Uberization とは、Uber の出現がタクシー業界に大きな影響を与えたように、これまでのビジネスモデルと異なる企業の出現により、既存業界の状況が大きく変わる現象を指すものである¹²⁾。

所有から利用の動き、サービス化の動きは、シェアリングエコノミーにおいて、さらに加速しつつある。先の Uber の例では、Uber のサービスを利用して運転手として仕事をしたいが車が無い、という人に車を貸す Breeze というサービスが生まれている¹³⁾。このサービスを利用すれば、Uber でビジネスをしたい人は車すら持たずに始めることができる。これは車というタンジブルな資産が、コンポーネント化し、サービスとなったものと言えることができる。もし、この動きが、よりさまざまな形でヒト・モノ・コトと結びつければ、それは REALITY 2.0 の世界に他ならない。

REALITY 2.0 におけるサービス提供に当たっては、シームレスにヒト・モノ・コトがつながり、サービス提供が実現することが求められる。近年話題となっているブロックチェーンはその実現に向けて活用可能な仕組みの一つであろう。

ブロックチェーンとは、電子通貨ビットコインに組み込まれた、強固な改ざん防止機能付き取引データベース（台帳）を作る仕組みである。そもそもはビットコインを支える中核的な仕組みとして導入されたものであるが、アルゴリズムに基づく自律的・分散的運用が可能なこと、および強固な（所有者）認証機能と耐改ざん性などから、電子通貨のみならずさまざまな権利移転などを伴う取引などに利用されるようになってきている。その活用範囲は試験レベルのものも多いが、裾野が広がりつつあるものである。例えば Airbnb などのルームシェアにおいて、大きな手間となるのが鍵の受け渡しである。部屋の発見とその利用申し込み・承認自体は、サイバー世界で可能であっても、実際にその部屋を利用するための鍵の受け渡しには人が介在することとなる。これを部屋に取り付けた電子ロックとブロックチェーンを活用することにより、人が介在することなく、円滑に部屋の貸し借りが可能となる Slock.it というサービスが出てきている¹⁴⁾。

現状、われわれはいまだ REALITY 2.0 の世界には至っていない。しかし、上で述べたように、REALITY 2.0 に向けた事例は確実に出てきており、それへの方向性を示しているとみることができる。

（4）科学技術的課題

REALITY 2.0 が実現する社会に向けての科学技術的課題は、本領域に至る各領域で議論されているとおり、広範かつ多層なレイヤーにまたがっている。ここで繰り返し述べることは避けるが、一つ取り上げたいのは、REALITY 2.0 の社会におけるセキュリティーの重要性である。

IoT の時代にはセキュリティリスクが増す、ということが議論されてきている。例えば、IoT 推進コンソーシアム資料によると、IoT 時代には、ネットワーク接続する IoT 機器の増加により、攻撃対象の増加・影響範囲の拡大が指摘されている。また同資料では、IoT 機器の特性として、ライフサイクルが長く、人の関与が少ないため、異変や攻撃の検知等がしづらく、長時間攻撃が持続するということも指摘されている¹⁵⁾。

サイバー世界とリアル世界がシームレスにつながることでなる REALITY 2.0 の世界では、この指摘はそのまま当てはまることになるであろうし、また、今まではリアルの世界での攻撃と、サイバー世界での攻撃は、それぞれ別のアプローチをする必要があったものが、両世界の統合により、攻撃者にとっては一つのアプローチで済むこととなる。また両世界の統合により、その価値・影響も今より大きくなることが想定される。

これは攻撃者にとっては格好の状況であると言えよう。加えて近年、サイバー攻撃は技術が高度化し、攻撃手法も巧妙化しているとともに、サイバー犯罪自体が産業化しているとの指摘もある¹⁶⁾。

こうした攻撃者から社会を防衛し、安心・安全な社会を構築するためには、REALITY 2.0 におけるサービスプラットフォームのセキュリティを確保することが必要であり、そのための技術研究・開発・実証が求められることとなるだろう。

さらに、社会システムデザインに向けては、以下のような科学技術的課題が挙げられる。

1. クローズシステムの制御からオープンシステムの制御へ発展
(異システム間調停、行動変容、など)
2. 多センサー情報からの社会状態の理解 (個別要素の理解でない)
3. 社会リソースの状態理解、属性認識とダイナミクスを考慮したシステムデザイン
4. 複雑情報、複数目的関数下でのシステム最適化とシステムデザイン
5. 社会リスクの評価、推定技術 (自然災害、事故などによる社会への影響、危険性の分析)。
被害最小化の計画立案。また、災害、事故発生後の運営継続性のための社会システムデザイン
6. 未知システムの社会受容性推定
7. プライバシー保護技術、技術だけでなくプライバシーに関する社会通念や侵害リスクに関する嫌悪感を乗り越える仕組みの実現
8. 国家間、企業間を跨った秘密データの交換技術、秘密データの処理技術

(5) 政策的課題

(3) 注目動向で見たとおり、REALITY 2.0 に向かう潮流は見えつつある。しかし、それに向かつての道には幾つもの越えるべき壁 (政策的課題) があると考えられる。ここではこれについて、ヒトの壁、モノの壁、コトの壁という切り口で述べていきたい。

一つ目の「ヒトの壁」とは、REALITY 2.0 における利用者 (国民など) のマインドに関するものである。新しい技術や仕組みが入るとき、利用者は戸惑いを覚えたり、不安を覚えたりすることがある。例えば 19 世紀の英国では、ラッドライト運動という、機械破壊運動が起こった。これは産業革命の進展に伴う機械利用の普及に対し、失業などの危惧を頂いた労働者が機械破壊運動を起こしたものである。これは「労働塊 (ろうどうかい) の

誤謬」と経済学者が呼ぶものに基づいている。社会全体の生産量が固定的であり、それを生産するための仕事は取り合う形にならざるをえないとの前提に立った故のものである。後の歴史をみれば、産業革命という技術革新は、一時的には失業の増大をもたらしたかもしれないが、新しい産業や職種が生まれ、その失業者は吸収されるという見方もできる。

新しい技術や仕組みが生まれることで、労働者に悪影響が出るという見方は現在もある¹⁷⁾。この見方に基づき、技術進展に反対する動きもみられており、これをネオ・ラッドライト運動と呼ぶこともある¹⁸⁾。これは利用者の見方・マインドに関わる話でもあり、新しい技術等に対する社会的受容性・成熟度の話とも考えられる。利用者のマインドを高め、社会的受容性・成熟度を向上させていくには、技術などの進展により、どのような便益が利用者にもたらされるかについての確に認知されることが重要である。その意味では利用者に対する適切な広報・教育活動を行っていくことが重要であろう。

二つ目の「モノの壁」とは、REALITY 2.0 を実現するためのシステムに関するものである。本報告書で挙げられているとおり、REALITY 2.0 を実現するシステムを構築するためには多くの技術的課題が存在する。これらの技術的課題の壁を超えるためには、調査、研究、および実証を含めて実験を積み重ねていくことが必要であると考えられる。既に文部科学省における「人工知能/ビッグデータ/IoT/サイバーセキュリティ統合プロジェクト」、経済産業省における「IoT 活用おもてなし実証事業」などが進められているが、このような重要分野における研究を的確に選定、必要なファンディングを継続していくことが求められる。

さらに、システムを運営するのは「ヒト」であるため、人材の確保も必須である。経済産業省が 2016 年 6 月に発表した「IT 人材の最新動向と将来推計に関する調査結果」¹⁹⁾によると、2015 年時点で 17 万人が不足しており、今後 2030 年までに約 80 万人が不足するとしている。本調査結果でも指摘されているが、個々の IT 人材のスキルアップ支援の強化に加え、先端 IT 人材、情報セキュリティ人材、IT 起業家などの重点的な育成強化も必要であろう。

三つ目の「コトの壁」とは REALITY 2.0 を実現するシステムを運用する上での決め事・ルールに関する課題である。情報処理推進機構 技術本部 ソフトウェア高信頼化センター (IPA/SEC) は、企業が IoT の課題をどう捉え、どのように取り組んでいるかに関する調査結果を 2016 年 9 月に発表した。「IoT 時代の異業種間の機器・システムがつながる世界において課題と思われることはなんですか」という問いに対する具体的な内容として、「つながりで発生するリスク」、「IoT の検証・テスト」、「IoT のセキュリティ対策」が上位の課題として挙げられている²⁰⁾。これらはマインドの問題や技術面の問題も関わり、ルールだけでは解消しないものの、IPA/SEC が取り組んでいる IoT 製品開発のガイドライン策定などは課題解消に向けてのルール化の取り組みと言えよう。

さらに REALITY 2.0 の世界では IoT よりもさらに業界横断・産官学横断でみたルール作りが求められる。経済産業省は 2016 年 9 月、「第四次産業革命に向けた横断的制度改革研究会 報告書」を発表した。この中では、競争政策、データ利活用・保護、知的財産に関して業界横断的な制度の課題やあり方が議論されている²¹⁾。

また、2015 年 10 月に設立された、IoT 推進コンソーシアムは、民主導の組織であるが、IoT・ビッグデータ・人工知能時代において、企業・業種の枠を超えて、産官学で利活用

を促進するものであり、標準化などのルール検討に加え、技術開発、実証を行っている²²⁾。このような業界横断、産官学横断的な観点からのルール作りを行っていくことが必要であると考えられる。

ヒト、モノ、コトに共通する政策的課題としては、デジタル化に伴う「データは誰のものか」という観点がある。つまり、各種サービスの利用などを通じて得たデータは、サービス提供事業者のものか、あるいは利用者自身のものなのか、というものである。この問題は、EUでもデータポータビリティの権利として議論されている。つまり、データの対象者は、自らが提供した個人データを「構造化された、共通に用いられる機械判読可能な形式で」受け取る権利を有する、とするものであり、我が国においても、この論点は議論されている²³⁾。利用者・サービス提供者双方が納得し、価値を生み出すデータの活用枠組みの構築が求められるところである。

これら三つの「壁」を超え、REALITY 2.0を実現するための社会の仕組み、つまり「社会システム」はどのようにデザインされるべきなのであろうか。社会システムデザインの考え方によれば、そのためには、状況を変革する「良循環」を新たに創造し、その良循環を駆動（ドライブ）するサブシステムを構築することとしている²⁴⁾。

例えば「ヒト」の壁に関し、これを変革する良循環についての試案の一つとしては、以下のようなものがあるだろう。

ヒト・モノ・コトのサービス化→サービスの多様化→利用者の選択肢増加→サービスの利用増加（需要の増加）およびフィードバックの増加→サービスの改善→利用者の満足度向上

ヒトの壁は新たな技術や仕組みへの不安や戸惑いに起因する。上記の良循環を生み出すことにより、サービスの需要増やサービスの改善により、サービスの提供者や利用者であるヒトの満足度が向上することで、壁を乗り越えて社会の変革を起こすことが可能であろう。

こうした社会システムの中で提供されるサービスは、サービス自体が新しく革新的なものもあるかもしれないが、必ずしも革新的なものばかりとは限らない。REALITY 2.0はサービス自体ではなく、それを提供する仕組み全体を指しており、それが実現したときには、例えば今までと結果は表面上同じであっても、裏側のメカニズムが効率化しているということもあり得る。つまり、今までよりも静かに、穏やかに物事がなされるようになる、という便益も生まれてくるだろう。

このような社会システム実現に向けてのシナリオとはどのようなものになるのだろうか。おそらくそれは、スタティックなものではありえないであろう。なぜならば、現在、そして REALITY 2.0 に向かう社会では、変化は予測もしない形で起こりうると考えられるからである。このような状況の中で、参考になるのは、リーン・スタートアップの考え方のように、仮説構築、実装、軌道修正を迅速に繰り返すことにより進めていくアプローチではなかろうか。

上で述べた三つの壁は、どれか一つがなくなっただけで REALITY 2.0 が実現する訳ではない。三つの壁に対する取り組みそれぞれが相互に関連し、その検証を踏まえた取り組みがさらに相互に関連しながら進展（Evolution）し、REALITY 2.0 に向かって螺旋状進

んでいく。REALITY 2.0 はこのような形で実現していくのではないだろうか。

さらに、REALITY 2.0 による社会システムデザインに必要な要素を以下に挙げる。

1. 産官学民連携：REALITY 2.0 の社会システムデザインにおいては、基本技術の開発から社会実装のための制度設計や社会実験まで広範な研究分野の連携のみならず、官庁や実社会での活動主体としての地域団体、民間団体、企業などの連携が必須
2. 学際連携：理工学での他分野の連携のみならず、社会学、心理学、認知科学、経済学、経営学、医学、デザイン学などの多様な学術分野の連携が必要
3. 新たな知財管理：本領域は、単なる技術的な発明による社会課題解決を目指すものではなく、社会制度設計、社会システムのデザイン、ヒューマンマシン・インタラクションなどを組み合わせて実現する。それゆえ、特許制度や著作権管理とは異なるタイプの知財管理の方法が必要となる（現在は著作権、意匠権と特許権を組み合わせ）
4. 国際標準化：工場、交通、家電など単一システム内での機器接続に関する標準化は必須（システムインターフェース、データ交換のためのデータフォーマット、制御コマンド等の標準化）。
5. 府省連携：データシェアリング。監督官庁や組織ごとに異なるセンシングシステム、データを個別に保持。例えば、交通では、国土交通省、警察庁、道路業者が個別に保持して、データシェアができない。また、REALITY 2.0 では、社会実装における関係省庁が多岐にわたるため、府省連携で総合的な規制緩和や制度設計が必要。モビリティでも、交通、物流、流通、医療、保健、などが関係。
6. 国際連携：データシェアリングに関する規制の整合、収集されたデータの知的財産権の整合、個人情報保護の整合、セキュリティーシステムの共通化、共同開発と同時強化（国際連携によるセキュリティーホールの発生を防ぐ）。国際的なサービス事業での税制の整備
7. 多国間ファンディング：REALITY 2.0 のシステムデザインは、一国、例えば日本国内だけで実現しても意味がなく、他国と成果を共有していくことが必要。国内のファンディングでも、他国の研究者とも組み入れて、グローバルに適用可能なものとして、社会実装についての研究を進める必要がある。

(6) キーワード

シェアリングエコノミー、Uber、Uberization、Breeze、ブロックチェーン、ビットコイン、Airbnb、ネオ・ラッドライト運動、IoT 推進コンソーシアム、社会システム、社会システムデザイン、リーン・スタートアップ、システムデザイン、行動経済学、ニューロ経済学、デザインシンキング、深層学習、感情情報処理

(7) 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	↑	閣議決定された「日本再興戦略 2016」は、産業分野を重点としているものの、製造業の IoT のみにフォーカスしたものではなく、健康・医療、防災・災害対応等さまざまな分野が含まれている。やや出遅れ感のある我が国であるが、ここへ来て注力度合いが高まっている感がある。
	応用研究・開発	△	↑	我が国では CPS/IoT の企業レベルでの取り組みは企業内に閉じた形で進展してきている。国内外の動向の変化から、業界横断、分野横断の兆しが見え始めている。
米国	基礎研究	○	→	米国では比較的早く CPS への取り組みはみられている。米国政府のスタンスとしては民主導で政府はその支援をする、というものであり、そのスタンスは基本的に変わっていない。
	応用研究・開発	◎	↑	GE の Predix などのプラットフォームの開発と事業化、Uber、Airbnb などレガシー技術を活用したサービス事業化など、社会に浸透し、海外展開もけん引。GE 主導の Industrial Internet Consortium をはじめとして、民間主導で CPS 関連の動向は活発である。産業分野の層も厚いが、スマートシティ、コネクテッド・ホームなど、生活関連分野への広がりもみられている。
欧州	基礎研究	○	↑	IoT Forum や EU Project を通じて、IoT の基礎技術の開発とスマートサンタンドールなどの実証実験を通じて基礎技術の強化を実施。また、IoT に関する国際標準化をけん引。 特にドイツではフラウンホフ研究所やドイツ人工知能研究所が Industrie 4.0 関連基礎技術の研究を推進している。 欧州においては、政府主導のドイツ Industrie 4.0 の取り組みが著名であるが、英国および欧州委員会も IoT 推進政策は整備してきている。産官学連携を推進する動きが目立つのが特徴的である。
	応用研究・開発	◎	↑	ドイツの Industrie 4.0 を中心としながら Siemens、SAP などプラットフォーム開発と事業展開が推進されている。 推進政策に基づく実証実験は行われているものの、米国における GE のような、ビジネスとして強力に推進していく動きはあまりみられていない。
中国	基礎研究	◎	→	第 12 次 5 年計画以降、IoT への投資額も莫大。有力大学でチャイナモバイル、などテレコムキャリア中心に応用開発と実証実験が幅広く展開。 比較的早く中国版 IoT である「物聯網」に注目し、推進してきている。2015 年にも「中国製造 2025」と「インターネット+ (プラス)」という、IoT を中心にした国家戦略構想を打ち出し、IoT を政策的に推進している。
	応用研究・開発	○	↑	通信事業者である中国移動がコネクテッド・カーである Internet of Vehicles などに取り組む一方、Huawei 等のメーカーは比較的安価なウェアラブル端末を提供している。
韓国	基礎研究	○	→	2013 年以降、ICT と他産業の融合、いわゆる ICT 融合による新サービス創出を促進している。IoT は重点育成分野として指定。
	応用研究・開発	○	→	IoT 実証団地において、サムスン電子、SK テレコム等民間企業と自治体が連携し保険やヘルスケアなどの実験を実施。政府との連携色が強く、また海外展開を意識して、大企業と中小企業とが連携して展開をしようとしている。

(注 1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

(注 2) 現状 ※わが国の現状を基準にした評価ではなく、CRDS の調査・見解による評価である。

◎ 特に顕著な活動・成果が見えている、○ 顕著な活動・成果が見えている

△ 顕著な活動・成果が見えていない、× 活動・成果がほとんど見えていない

(注 3) テレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

(8) 参考文献

1) NSF (National Science Foundation), Cyber-Physical System (CPS)

- http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286 (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 2) NSF, Cyber-Enabled Materials, Manufacturing, and Smart Systems (CEMMSS) (2016 年 12 月 15 日アクセス)
http://www.nsf.gov/about/budget/fy2016/pdf/35_fy2016.pdf (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 3) JETRO, 「米国における IoT (モノのインターネット) に関する取り組みの現状」, ニューヨークだより, 2015 年 8 月
- 4) ITEUROPA, “UK GOVERNMENT COMMITS TO INTERNET OF THINGS,” 2014 年 3 月 11 日
<http://www.iteuropa.com/?q=uk-government-commits-internet-things> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
BBC NEWS, “‘Internet of things’ to get £45m funding boost,” 2014 年 3 月 9 日
<http://www.bbc.com/news/business-26504696> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 5) Postscapes, “British government launches IoTUK program to coordinate Internet of Things development,”
<http://www.postscapes.com/british-government-launches-iotuk-program-to-coordinate-internet-of-things-development/> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 6) 一般財団法人マルチメディア振興センター, ICT Global Trend
<https://www.fmmc.or.jp/ictg/country/eu.html> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 7) European Commission, “The Internet of Things,”
<https://ec.europa.eu/digital-single-market/internet-things> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 8) ジェトロセンサー, 「中国 IoT は製造強国への一里塚?」, 2016 年 6 月号
https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Reports/01/91c49e2fc5e39931/20160013.pdf (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 9) RHB Rehobo Laboratories, 「中国、「Internet+」行動を発表, 2015 年 7 月 12 日
<http://www.rehobolab.com/blogs/-internet> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 10) ITU ジャーナル, 「国を挙げて IoT 活性化に取り組む韓国」, Vol. 46 No.6 (2016.6)
https://www.ituaj.jp/wp-content/uploads/2016/05/2016_06-10-kaigaiKorea.pdf (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 11) 日本経済再生本部, 「日本再興戦略 2016 – 第 4 次産業革命に向けて –」, 2016 年 6 月 2 日
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/2016_zentaihombun.pdf (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 12) IT pro, 「経営層は“ウーバライゼーション”に強い関心、米 IBM が調査」, 2015 年 11 月 4 日
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/atcl/news/15/110403605/> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 13) ダイヤモンド・オンライン, 「「ウーバライゼーション」の脅威-シェアリング・エコノミーとどう向き合うか」, 2016 年 4 月 8 日

- <http://diamond.jp/articles/-/89187> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 14) Slock.it
<https://slock.it/> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 15) IoT 推進コンソーシアム事務局, 「IoT セキュリティの動向について」, 2016 年 1 月 21 日
http://www.iotac.jp/wp-content/uploads/2016/01/資料3-1_IoTセキュリティの動向について.pdf (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 16) 株式会社富士通マーケティング, 「第 02 回近年のサイバーセキュリティにおける攻撃側と防御側の状況」, 2016 年
<http://www.fujitsu.com/jp/group/fjm/mikata/column/ffri/002.html> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 17) 産経ニュース, 「21 世紀のラッダイト運動 共有経済は「労働者壊す」」, 2016 年 1 月 24 日
<http://www.sankei.com/world/news/160124/wor1601240003-n1.html> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 18) 東洋経済新報社, 「勝者の代償」, ロバート・B・ライシュ, 2002 年 7 月
- 19) 経済産業省, 「IT 人材の最新動向と将来推計に関する調査結果について」, 2016 年 6 月 10 日
http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/27FY_report.html (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 20) MONOist, 「IoT の課題は「接続相手の信頼性が不明」なこと——IPA/SEC が調査」, 2016 年 9 月 16 日
<http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1609/16/news051.html> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 21) 経済産業省, 「第四次産業革命に向けた横断的制度研究会 報告書」, 2016 年 9 月 15 日
<http://www.meti.go.jp/press/2016/09/20160915001/20160915001-3.pdf> (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 22) 総務省, 「スマート IoT 推進フォーラムの活動について」
http://www.soumu.go.jp/main_content/000398945.pdf (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 23) 生貝直人, 「欧州等の先進事例にみるパーソナルデータ利活用の新潮流: データポータビリティ制度に基づくビッグデータ利活用のパラダイムシフトに向けて」, 2016 年 3 月 17 日
http://ikegai.jp/nikkeiBD_ikegai160317.pdf (2016 年 12 月 15 日アクセス)
- 24) 横山禎徳, 「「社会システム・デザイン」と何か・課題設定・形成能力という「身体知」獲得」, 慶應義塾大学大学院 SDM、2013 年 2 月 26 日
<http://www.sdm.keio.ac.jp/pdf/slide1.pdf> (2016 年 12 月 15 日アクセス)