

みずほ産業調査

2015 No.3

51

IoT (Internet of Things) の現状と展望

- IoTと人工知能に関する調査を踏まえて -

みずほ情報総研
みずほ銀行

<目次>

<はじめに>	1
第 1 部 IoT の全体動向	3
1. IoT とは	3
1.1 IoT の定義	3
1.2 IoT の実現をもたらす 3 つのイノベーション	6
1.3 IoT の階層構造・エコシステム	8
1.4 市場規模・経済価値	15
1.5 IoT による価値創造	17
1.6 産業別の IoT のユースケース	19
2. 世界の IoT の潮流 ―新たな産業革命の幕開け―	22
2.1 ドイツ「Industrie 4.0」	23
2.2 GE「Industrial Internet」	24
3. IoT の普及・進展にあたっての課題・論点	33
3.1 IoT の普及に向けた課題・論点	33
3.2 個別企業の取り組みにおける課題・論点	38
4. 日本企業における IoT の取り組みの方向性	40
4.1 日本企業の IoT への取り組み状況	40
4.2 日本政府の IoT 政策	41
4.3 日本企業の取り組みの方向性	45
4.4 まとめ	52
第 2 部 IoT 活用、IoT を支える基盤の最新動向と展望	54
1. 移動：乗り物が変わる（自動運転）、物流が変わる	54
1.1 IoT が移動・交通に与える価値	54
1.2 移動・交通分野における IoT 先進事例	55
1.3 IoT デバイスとして注目される移動体 ～自動運転車・ドローン～	63
1.4 移動・交通分野における IoT 活用の展望、課題	72
2. ライフスタイル：生活・くらしが変わる	85
2.1 生活・くらしにおける IoT の広がり	85
2.2 生活・暮らしにおける先進事例	86
2.3 ライフスタイル分野における IoT 活用の展望、課題	95
3. 産業：ものづくり・バリューチェーンが変わる	97
3.1 情報通信技術を起点とした新しいものづくりの潮流	97

3.2	ものづくりの現場を変える IoT	99
3.3	バリューチェーンを変える IoT	106
3.4	ものづくり産業に与える IoT のインパクト	113
4.	IoT 時代の情報処理基盤	114
4.1	IoT 情報処理基盤	114
4.2	注目される人工知能	119
4.3	IoT 時代の情報処理基盤、人工知能の展望、課題	132
5.	IoT 時代のセキュリティ	139
5.1	IoT におけるセキュリティの必要性	139
5.2	求められるセキュリティ対策	146
5.3	IoT 時代のセキュリティに関する展望、課題	153
6.	IoT 時代に活躍する人材	154
6.1	IoT 時代を切り拓く人材	154
6.2	IoT 時代を切り拓く有識者へのインタビュー	154
6.3	IoT 時代に求められる人材とは	161
7.	IoT が創り出す新たな時代の到来	163
	【執筆担当一覧】	165
	【主要参考文献】	166

<はじめに>

企業における IT の活用は、業務の効率化、生産性向上だけでなく、新たな付加価値創造に向けた取り組みへの舵が切られはじめている。現代社会の発展を支える IT は、今後も留まることなくイノベーションが加速度的に進展し、未来の産業・社会に大きな変革の波をもたらすことになるだろう。

昨今、モノとインターネットの融合により新たな付加価値を創造する IoT（Internet of Things）への注目が非常に高まっている。米国、欧州等の世界の国・地域、様々な産業や企業において、IoT を戦略に掲げた取り組みが進められていることがその背景にあり、我が国日本でも、2015 年 6 月 30 日に閣議決定された『日本再興戦略』改訂 2015「未来への投資・生産性改革」にて、重要施策の一つとして、IoT への取り組みが掲げられた。その他のトレンドとして、ソーシャルコンピューティングの普及、ビッグデータ活用の本格化、人工知能やロボットの高度化など、テクノロジーの加速度的な進化が続いているほか、注目すべき新たな取り組みが次々と登場している。こうした新たなテクノロジーの登場・進化とその普及・進展は、今後、産業構造や企業の競争環境の変革に留まらず、個人のライフスタイル等を含む社会全体にも多大な影響を及ぼすと考えられる。

こうした大きな変革の波の中で、企業にとっての多大なる成長可能性を認識し、その果実を得るための戦略方向性を考えるうえで、テクノロジーの動向とそれらがもたらしうる産業・社会への影響を把握しておくことは、企業経営において重要な行動様式と考えられる。斯かる認識のもと、本レポートは、あらゆる産業・企業に大きな可能性とインパクトを与えることが想定される“IoT”というキーワードを中心に位置付け、次の 2 部構成としてまとめた。

第 1 部では、IoT の全体動向として、IoT の概念整理から始め、昨今の市場動向や国内外の企業動向等を示した上で、普及に向けた課題、日本企業における IoT への取り組みの方向性を示した。第 2 部の前半では、IoT の応用分野として、移動・物流、生活・くらし、ものづくりを取り上げ、IoT が実際に社会の中でどのように実現するのか、IoT によって社会がどのように変わるのか、という点について、先進的なテクノロジーの進展・活用事例等に関する調査を行った上で、未来社会におけるライフスタイルや産業の姿を示した。第 2 部の後半では、IoT を支える基盤に着目し、人工知能とセキュリティの動向を解説した。また、IoT に関連する最前線の領域で活躍する有識者へのインタビューを通じて、IoT 時代を切り拓く人材の姿を示した。

本レポートは、みずほフィナンシャルグループにおいて、電機・IT・通信・メディア産業に関する業界・企業動向の調査及びアドバイザリ業務等を担当する、みずほ銀行 産業調査部電機・IT・通信チームが第1部を執筆し、情報通信産業政策や情報化戦略に関する調査研究及びコンサルティングを担当する、みずほ情報総研経営・ITコンサルティング部が第2部を執筆した共同レポートである。

なお、本レポートの作成にあたっては、2015 International CES、Mobile World Congress 2015 での IoT に関する最新の展示やプレゼンテーションのほか、IoT に関する複数の企業関係者や有識者の見解や意見を参考とした。本調査のために貴重な時間をいただいた方々に、この場を借りて改めて御礼申し上げたい。

第1部 IoT の全体動向

IoT (Internet of Things) という言葉を新聞、雑誌、ニュースサイト等で目にする機会が日を増すごとに増えている。企業が自社の事業戦略に IoT を盛り込むケースも相乗的に増えている。2015 年 6 月 30 日に閣議決定された『日本再興戦略』改訂 2015¹では、重要施策の一つとして、IoT への取り組みが掲げられた。このように IoT という言葉が脚光を浴びる中、その 3 文字に含まれる広い概念と、その“万能さ”により、時として、時流の波に乗ってバズワード的に使用されるケースも多いような印象を受ける。そもそも IoT の本質とは何なのであろうか。

第 1 部では、IoT に関する世の中の注目、期待感が高まる中、第 1 節の IoT に関する基礎的な概念の整理からはじめ、第 2 節では海外の先行的な取り組みとして、ドイツの「Industrie 4.0」および米国 GE の「Industrial Internet」の事例を取り上げ、第 3 節では IoT の普及に向けた課題、第 4 節では日本企業の IoT への取り組みの方向性について、政府の IoT 政策と、“個”としての日本企業の戦略方向性を考察した。

この第 1 部が IoT への基礎的な理解を深めるための一助となるとともに、日本企業各社の IoT 時代の取り組みの方向性について、何らかの示唆を与えることができれば幸いである。

1. IoT とは

1.1 IoT の定義

(1) モノのインターネット

“Internet of Things”というフレーズは、RFID¹の標準化を推進したイギリスの Kevin Ashton が 1999 年に最初に提唱したと言われている。日本では一般的に「モノのインターネット」と直訳されるケースが多いが、この訳語自体からその意味をイメージしにくい。ヒトが通信手段として日頃利用するパソコンやスマートフォンだけでなく、あらゆるモノがインターネットに繋がること、さらに、新聞・雑誌、調査機関、企業等が IoT という言葉を使用する際の意図としては、インターネットに繋がる対象を“モノ”、“ヒト”、“サービス”と広く捉えるとともに、“繋がる”だけでなく、それにより生み出される“価値”まで含むことが一般的になってきている。そして、IoT で如何に価値を生み出すか、多くの企業が模索している状況にあることが、足許、IoT が注目される理由であろう。以上を踏まえ、本レポートでは、IoT を“モノ、ヒト、サービスの全てを包括したインターネット化による価値創造”と定義する。

IoT の概念を具体化していくと、図 1-1 のとおり、デバイス、ネットワーク、クラウ

¹ Radio Frequency Identification

ド²の3つの階層に分けられる。まず、「インターネットに繋がるモノ(=IoT デバイス)」とは、大まかに「センサ」と、「通信モジュール」を有していることが示される。センサがモノの状態をデジタル化・データ化し、通信モジュールのインターネット接続機能により、クラウドにデータを送信することで、遠隔でのモノの「観測・監視 (Monitoring)」が可能となる一方、受信したデータを分析・処理した結果をクラウド側から指示(データ送信)することにより、遠隔でのモノの状態の「制御 (Control)」も可能となる。更に、「監視・観測 (Monitoring)」、「制御 (Control)」機能、クラウドでの高度なデータ分析・処理の組合せにより、モノの稼働状況の「最適化 (Optimization)」、「自動化 (Automation)」も可能となる。

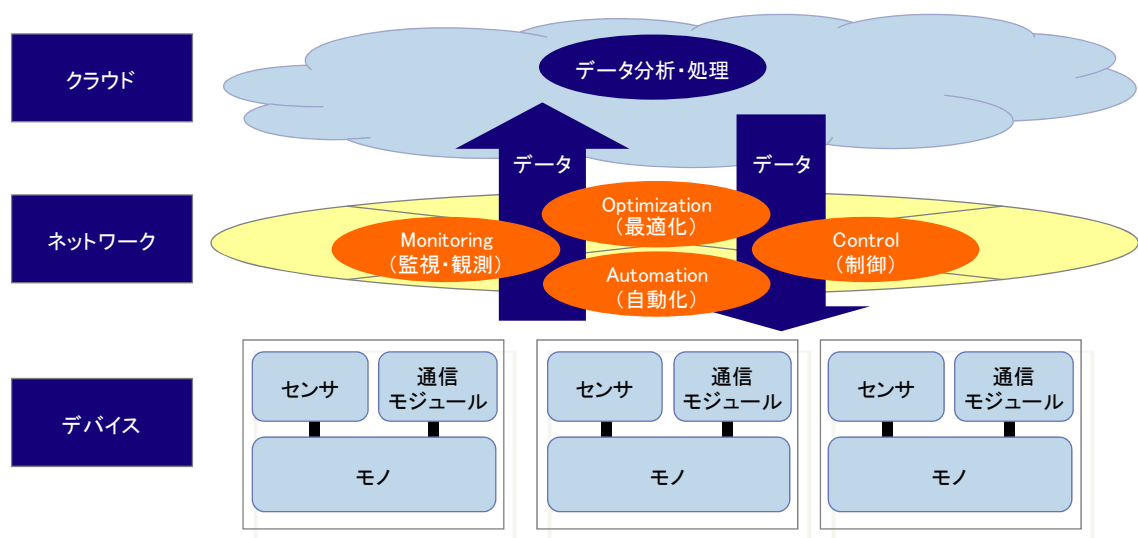


図 1-1 IoT のイメージ

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

(2) IoT の類似の概念

昨今注目が集まる IoT であるが、「あらゆるモノがインターネットに繋がる」といった概念自体は新しいものではない。IoT の類似の概念は予てより提唱されており(図 1-2)、古くは、米 Xerox のパロアルト研究所の Mark Weiser が 1988 年に提唱した「ユビキタスコンピューティング」が挙げられる。あらゆるものにコンピュータが組み込まれ、いつでも、どこでもコンピューティング環境を利用できる世界観を表した概念であり、日本においても、政府が 2001 年に掲げた「e-Japan 戦略」や、それに続く「u-Japan 戦略」で提唱された「ユビキタスネットワーク社会³」の構想のもと、センサネットワークと様々な

² 厳密には、クラウドコンピューティングだけでなく、自社でサーバー、ストレージ等を運用するオンプレミスも含むほか、階層構造として、IoT プラットフォーム、アプリケーションに分けられる。本レポートでは、IoT プラットフォーム、アプリケーションを合わせて「クラウド」と表記する

³ 「いつでも、どこでも、何でも、誰でも」ネットワークに繋がることにより、様々なサービスが提供され、人々の生活を豊かにする社会

関連技術の研究が行われてきた（図 1-3）。その他、米 IBM が 2008 年に提唱した「Smarter Planet」や、米国の NSF⁴（米国国立科学財団）が 2009 年に研究支援プログラムを立ち上げた「CPS⁵」が挙げられる。また、IoT の“Things”について、モノだけでなくサービスを含めた包括的な概念として、米 Cisco Systems が 2012 年に「Internet of Everything (IoE)」を提唱するなど、IoT から派生した概念も生まれている。これらはそれぞれの提唱者によって、対象領域の広狭に細かな差異はあるものの、本質的には、前述の定義のとおり、“モノ、ヒト、サービスの全てを包括したインターネット化による価値創造”と解される。また、GE の「Industrial Internet」、ドイツの「Industrie 4.0」は、製造業にフォーカスした概念（詳細は第 2 節参照）であり、M2M⁶は、機器間の通信を対象としており、特定領域に特化した IoT と整理される。

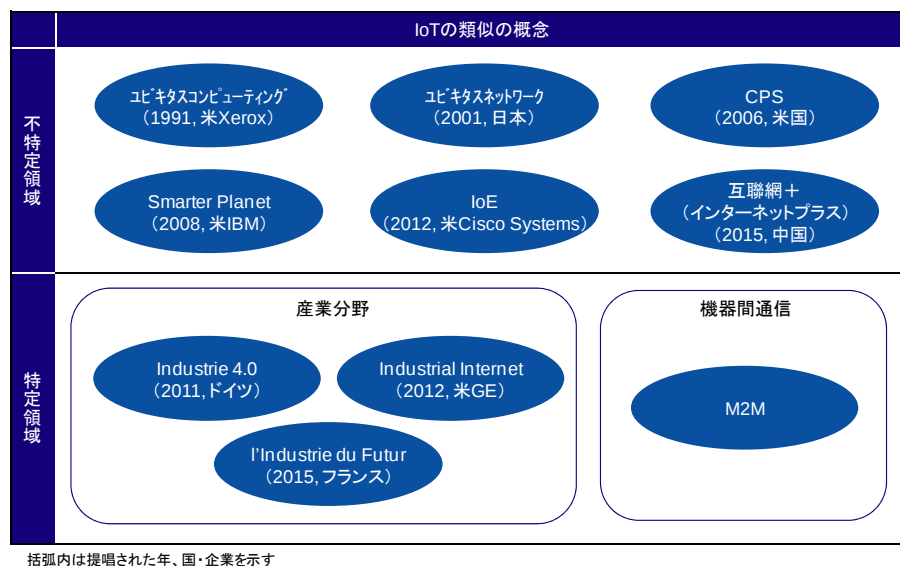


図 1-2 IoT の類似の概念

（出所）みずほ銀行産業調査部作成

⁴ National Science Foundation

⁵ Cyber-Physical System; 実世界と仮想世界の融合（インターネット化以外も含む）による価値創造

⁶ Machine to Machine; 機器間通信

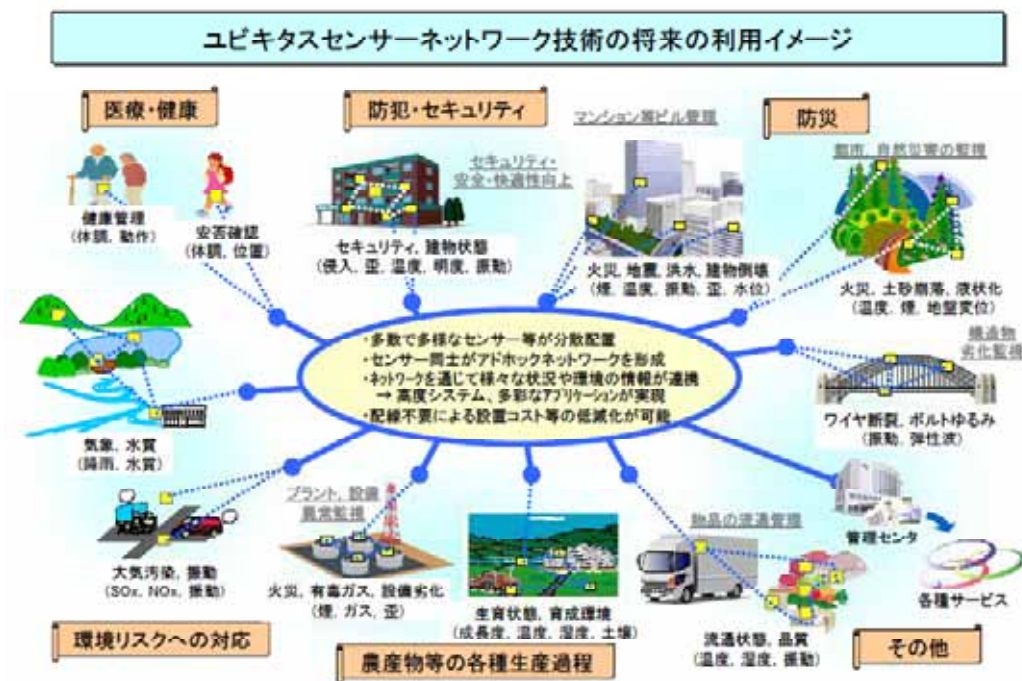


図 1-3 ユビキタスセンサネットワーク技術の将来の利用イメージ

(出所) 総務省ホームページ⁷

1.2 IoT の実現をもたらす3つのイノベーション

予てより提唱されてきた概念が、IoT という言葉に名を変え、改めて注目を集めているのは、コンセプトの実現に向けた取り組みが加速するステージへと移行しつつあるからである。この IoT 時代の立ち上がりの背景として、センサ、ネットワーク、コンピューティングに関わる3つのイノベーションが要因となっていると考えられる(図 1-4)。その結果、合理的な経済的負担の下、大量かつ多種多様なデータをリアルタイムで収集するとともに、高度かつ高速なデータ分析・処理により、経済価値を生み出せるようになり、ビジネスモデルが成立するようになったのである。

(1) センサにおけるイノベーション

センサは、画像、位置、温度、振動等、様々なモノの内外の状態を把握するためのデバイスであるが、半導体の微細加工技術を応用した MEMS⁸技術の高度化等に伴う、センサの小型化、省エネ化(消費電力の低減)、低価格化の進展により、産業機器やコンシューマ向け機器(スマートフォン、ウェアラブルデバイス等)等の様々なモノにセンサを搭載することが可能となりつつある。

⁷ http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/yubikitasu_c/pdf/040325_2_sa1.pdf

⁸ Micro Electro Mechanical Systems

(2) ネットワークにおけるイノベーション

ISDN 回線（～64Kbps⁹）から ADSL（数 10Mbps）、FTTH（数 10Mbps～数 Gbps）への通信速度の飛躍的向上や、3G/4G 回線等のワイヤレスネットワークの通信エリアの拡大、これらの通信コストの低下等により、屋内外でのデータ通信が高速かつ安価に行えるような環境が整ってきた。また、新たなインターネットプロトコル IPv6 の登場により、使用可能な IP アドレス¹⁰数が飛躍的に拡大した。従来の IPv4 では、32bit のアドレス数（ 2^{32} ＝約 43 億個）の制約により、IP アドレスの枯渇の懸念があったものの、IPv6 のアドレス数は 128bit（ 2^{128} ＝約 3.4×10^{38} 個）と、ほぼ無限大とも言える数に拡張され、全世界のあらゆるものに IP アドレスを割り当てることが可能となった。

(3) コンピューティングにおけるイノベーション

CPU の高速化や CPU コアの増加による計算処理速度の向上、インメモリコンピューティング¹¹によるデータのアクセス速度の向上、Hadoop 等の分散処理技術の導入等、所謂ビッグデータ関連技術の進化に加え、これらのコンピューティング・インフラを“素早く”、“安価に”、“誰でも”利用可能なクラウド・コンピューティングが進展している。

身近な例として、計算処理速度の飛躍的な向上を実感できる事例を取り上げる。IBM が開発したスーパーコンピュータ「Deep Blue」は、1997 年に当時のチェスの世界チャンピオンに勝利を収め、世界的な注目を集めたが、今日では、Apple の iPhone 4S（2011 年発売）に搭載されたチップセット「Apple A5」の演算速度は「Deep Blue」を上回っている。大型で膨大な消費電力を要するスーパーコンピュータが、十数年の月日を経て、片手に収まるスマートフォンの演算性能に凌駕されてしまったのである。これがまさにテクノロジーのイノベーションの本質と言えよう。

⁹ bits per second

¹⁰ インターネットやイントラネットなどの IP ネットワークに接続されたコンピュータや通信機器の 1 台ずつに割り振られた識別番号

¹¹ ハードディスクに比べてデータの読み書きスピードが圧倒的に早い（約 10 万倍）メインメモリ上に、全てのデータ・プログラムを保持することにより、従来比飛躍的な高速処理を実現する技術

項目	概要
センサにおけるイノベーション	✓ センサの小型化 ✓ センサの省電力化 ✓ センサの低価格化
ネットワークにおけるイノベーション	✓ 通信速度の向上 (ISDN→FTTH、3G→LTE等) ✓ 通信コストの低減 ✓ 通信エリアの拡大 ✓ 割り当て可能なIPアドレス数の飛躍的拡大 (IPv4: $2^{32} \approx 43$億個→IPv6: $2^{128} \approx 3.4 \times 10^{38}$個)
コンピューティングにおけるイノベーション	✓ データ処理技術の向上 (ビッグデータ分析) - ーCPUの高速化・メニーコア化 - ー分散処理 - ーインメモリコンピューティング 等 ✓ クラウドコンピューティングの進展

図 1-4 IoT の実現をもたらす 3 つのイノベーション

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

1.3 IoT の階層構造・エコシステム

(1) IoT の階層構造 (機能別分類)

IoT は、デバイス、ネットワーク、クラウドの大きく 3 つの階層構造に分類されるが、主要な機能を①センサ、②通信・ネットワーク、③IoT プラットフォーム、④アプリケーションの 4 つに分けて解説する (図 1-5)。



図 1-5 IoT の階層構造 (機能別分類) (例)

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

センサ

IoT におけるセンサは、IoT デバイスの内部や周囲の様々な物理的・化学的な特性（温度、湿度、加速度、位置、pH 等）をデジタル化・データ化するための装置であり、計測対象とする状態や必要な精度に応じて多種多様なセンサが利用される。例として、産業機器の遠隔監視において、ガスタービンの稼働状況を把握するために多数の温度、圧力センサ、流量センサ等が設置されるほか、ウェアラブルデバイスでは、血圧センサ、脈拍センサ、歩数を計測するための加速度センサ等が使用され、農業分野では、気温、照度、雨量、CO₂ 濃度、土壌の水分、pH 等の農作物の生育に関連する様々な状態を計測するための各種センサが使用される。

ネットワーク

センサが収集したデータをインターネットに送信するための機能を提供する通信・ネットワークであり、無線、固定の 2 つに分類される。無線ネットワークでは、RFID（数 mm～数 m）、Zigbee（30m 程度）、Bluetooth（数 m～100m）などの短距離向けの WPAN¹²、Wi-Fi がデファクトスタンダードとなっている中距離向け WLAN¹³、通信キャリアの 2G/3G/4G 回線を利用した長距離向け WWAN¹⁴、固定ネットワークでは ADSL、FTTH や電力線を用いた PLC¹⁵があり、通信距離、通信速度、消費電力等の各通信規格の特性に応じて使い分けがなされている（図 1-6）。例えば、電源供給に制約があるウェアラブルデバイス、HEMS¹⁶、BEMS¹⁷では、一般的に短・中距離通信である WPAN、WLAN により、一旦 IoT ゲートウェイ¹⁸に接続し、IoT ゲートウェイ経由でインターネットに接続される。他方、これらの制約が少なく、ビジネスモデル上、通信料のコスト負担も可能な産業機器の遠隔監視、自動車のインフォテイメントシステム、自動販売機の在庫管理システム等は、通信キャリアが提供する 3G/4G などの M2M 回線によってインターネットに直接接続される（図 1-7）。

¹² Wireless Private Area Network

¹³ Wireless Local Area Network

¹⁴ Wireless Wide Area Network

¹⁵ Power Line Communication

¹⁶ Home Energy Management System

¹⁷ Building Energy Management System

¹⁸ プロトコルが異なるネットワーク間の通信を中継する機器

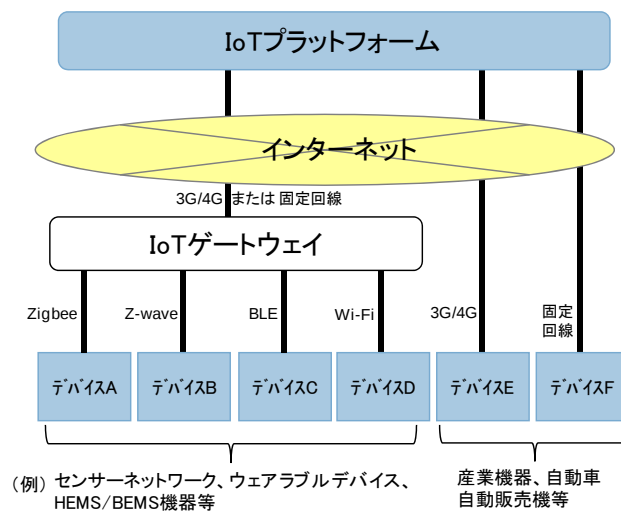


図 1-6 IoT デバイスの主な接続方法

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

	WPAN			WLAN	WWAN
	Zigbee	Z-Wave	BLE*	Wi-Fi	3G
周波数	2.4GHz 902～928MHz 868～870MHz	900MHz	2.4GHz	2.4GHz/5GHz	800MHz帯 900MHz帯 1.5GHz帯 1.7GHz帯 2.1GHz帯
通信距離	30m程度	30m程度	数m～100m程度	100m程度	数10km
通信速度	20kbps、40kbps、 250kbps	100kbps	1Mbps/ 0.2～0.4Mbps	11Mbps、54Mbps、 300Mbps	下り 14Mbps/ 上り 5.7Mbps
消費電力	小	小	小	大	大
主な接続用途	センサネットワーク、 HEMS、BEMS	センサネットワーク、 HEMS	PC、スマートフォン、 タブレット周辺機器、 ウェアラブルデバイス、 センサネットワーク、 HEMS、BEMS	PC、スマートフォン、タ ブレット、カメラ、デジ タル情報家電	携帯電話、スマート フォン、タブレット、 ノートPC、自販機、 自動車、産業機器、 ハンディターミナル等

* Bluetooth Low Energy

図 1-7 主要な M2M 無線通信規格

(出所) 各種資料よりみずほ銀行産業調査部作成

IoT プラットフォーム

IoT プラットフォームは、1)IoT デバイスのネットワーク接続等に関わる「コネクティビティ・プラットフォーム」 2) データ収集・処理等に関わる「サービスプラットフォーム」の大きく 2 つに分けられる。

ビジネスモデル上の重要性は後述するが、データの分析を担うこの領域が、IoT の核となることから、IoT ビジネスに関与しようとするプレイヤーの多くが、この領域の取り込みを模索している点で注目されている。

1) コネクティビティ・プラットフォーム

IoT デバイスのネットワーク接続に関わる機能を提供するプラットフォームであり、代表的な機能として SIM¹⁹プロビジョニングが挙げられる。例えば、通信キャリアの M2M 通信機能が組み込まれた産業機器をメーカーが販売する場合、回線の課金の都合上、メーカーの在庫時には回線は停止状態とし、ユーザー側で使用を開始する際に回線を利用可能とする必要がある。SIM プロビジョニングとは、このように M2M 回線の利用開始あるいは利用停止等のオペレーションを遠隔で実現する機能である。

2) サービスプラットフォーム

IoT デバイスからのデータ収集・蓄積、データ分析・処理機能や、分析結果の可視化、後述する④の個々のアプリケーションの管理、IoT デバイスのセキュリティ認証等の機能を提供するプラットフォームであり、IoT におけるビッグデータ分析およびアプリケーション提供に関わる共通基盤としての重要な役割を担う。

アプリケーション

IoT のシステム構成におけるアプリケーションは、製造業、ヘルスケア、エネルギー、自動車、金融、小売等、各産業や用途に応じた固有の機能を提供するものである。例として、産業機器の稼働データをリモートで収集し、機器の稼働状況を把握する遠隔監視や、収集したデータの分析による機器の故障の予兆検知、機器の稼働状況の最適化等の機能を提供するアプリケーションが挙げられるほか、家庭内の電力消費量の「見える化」や、家電等による電力消費量の制御を実現する HEMS など、様々なアプリケーションの開発が想定される（1.6 節にて産業別の IoT のユースケースを後述）。

(2) IoT 関連主要プレイヤー構成

IoT は、デバイス、通信・ネットワーク、プラットフォーム、アプリケーションで構成される巨大なエコシステムであり、更に細分化される階層毎あるいは階層を跨って多数のプレイヤーが存在する（図 1-8）。

¹⁹ Subscriber Identity Module

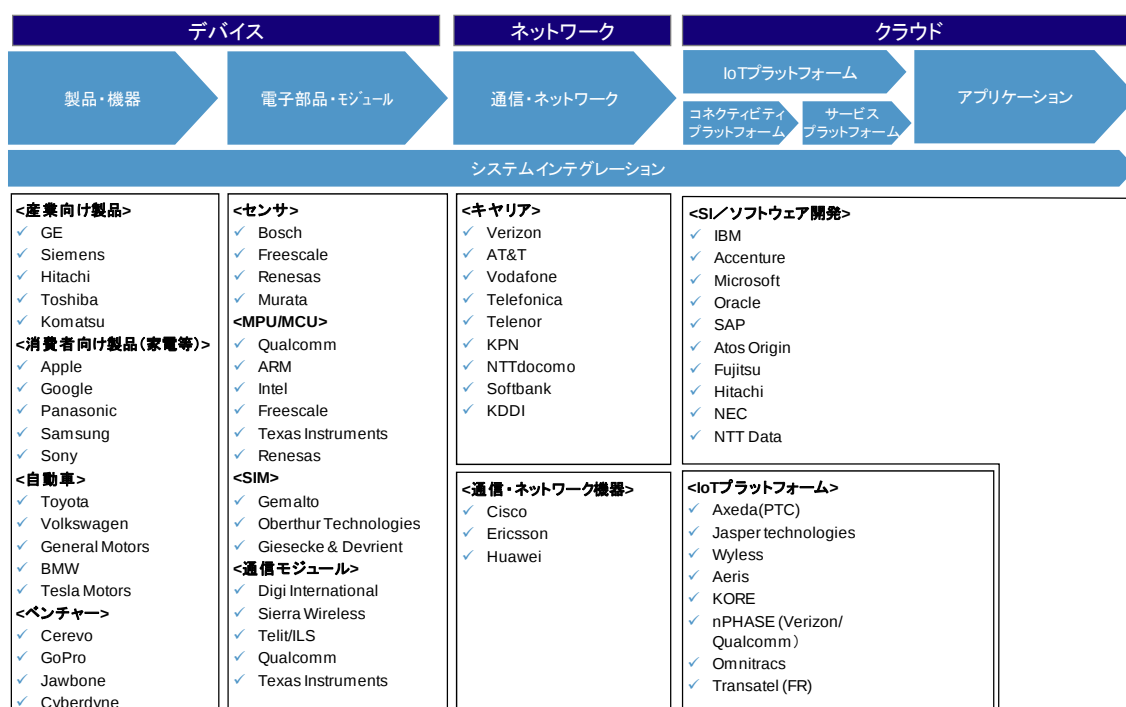


図 1-8 IoT 関連主要プレイヤーの構成

(出所) 各種資料よりみずほ銀行産業調査部作成

製品・機器

製品・機器関連のプレイヤーは、基本的には、既存の製品・機器に、センサや通信機能等を付加したうえ、稼働データの収集、データ分析結果に基づく高度な制御等により、製品・機器の性能向上や新たな機能の付加を実現するアプリケーションを提供し、新たな価値創造を狙う完成品メーカーで構成される。GE、Siemens 等のタービン、発電機、医療機器、建機等の産業向け製品メーカーや、Apple、Samsung、Google 等の家電・ウェアラブルデバイス等の消費者向け製品メーカー、BMW、Volvo 等の自動車メーカー等が挙げられる。一方で、IoT での活用を目的として、製品開発に参入する既存の完成品メーカー以外のプレイヤーも現れている。家電ベンチャーの Cerevo、GoPro、Jawbone などが挙げられる。

電子部品・モジュール

電子部品・モジュール関連のプレイヤーは、Bosch、Freescale 等のセンサメーカー、Qualcomm、Intel、ARM 等の MCU²⁰/MPU²¹メーカー、Gemalto、Oberthur Technologies 等の SIM メーカー、Digi international、Sierra Wireless 等の通信モジュールメーカー等、IoT 対応に必要な電子部品やモジュールを製造・販売するメーカーで構成される。

²⁰ Micro Controller Unit

²¹ Micro Processing Unit

通信・ネットワーク

通信・ネットワーク関連のプレイヤーは、IoT における主要な通信手段である M2M サービスを提供する Vodafone、AT&T 等の通信キャリアと、Cisco Systems、Ericsson 等の通信キャリアに通信・ネットワーク機器を提供するメーカーで構成される。

通信キャリア間では、自社単独でのサービス提供エリアを超え、グローバルでシームレスに M2M サービスを推進するためのアライアンスが形成されている（図 1-9）。各アライアンス団体では、ローミングコストの低減に加え、M2M 通信モジュールや eSIM²²等の規格の共通化等に取り組んでおり、これにより各通信キャリアは、自社のユーザーにグローバルベースでワンストップの M2M サービスを提供することが可能となる。M2M World Alliance は、Jasper Technologies（米国）の提供する M2M のプラットフォームを採用する NTT ドコモ、SingTel（シンガポール）、Telefonica（スペイン）等の 8 社、Global M2M Association は、ソフトバンクの他、欧州キャリアの Orange（フランス）、Deutsche Telekom（ドイツ）、Telecom Italia（イタリア）等の 6 社、Bridge Alliance は、M2M World Alliance の Singtel や Global M2M Association のソフトバンクも含むアジア・太平洋地域の通信キャリアで構成されている。KDDI は上記のいずれのアライアンスにも参加していないものの、M2M World Alliance のメンバーの Telenor Connexion（スウェーデン）とグローバルな M2M ソリューションの提供に関して提携関係にある。また、グローバルなカバレッジを強みとする Vodafone は、いずれのアライアンスにも参加していないが、2014 年 6 月にドコモとの提携が発表された。

なお、Global M2M Association と Bridge Alliance は、Ericsson（スウェーデン）と M2M プラットフォームの提供で提携関係にあり、M2M World Alliance の各社と提携関係にある Jasper Technologies と Ericsson とが M2M プラットフォームの領域で競争を繰り広げている状況にある。

²² Embedded SIM

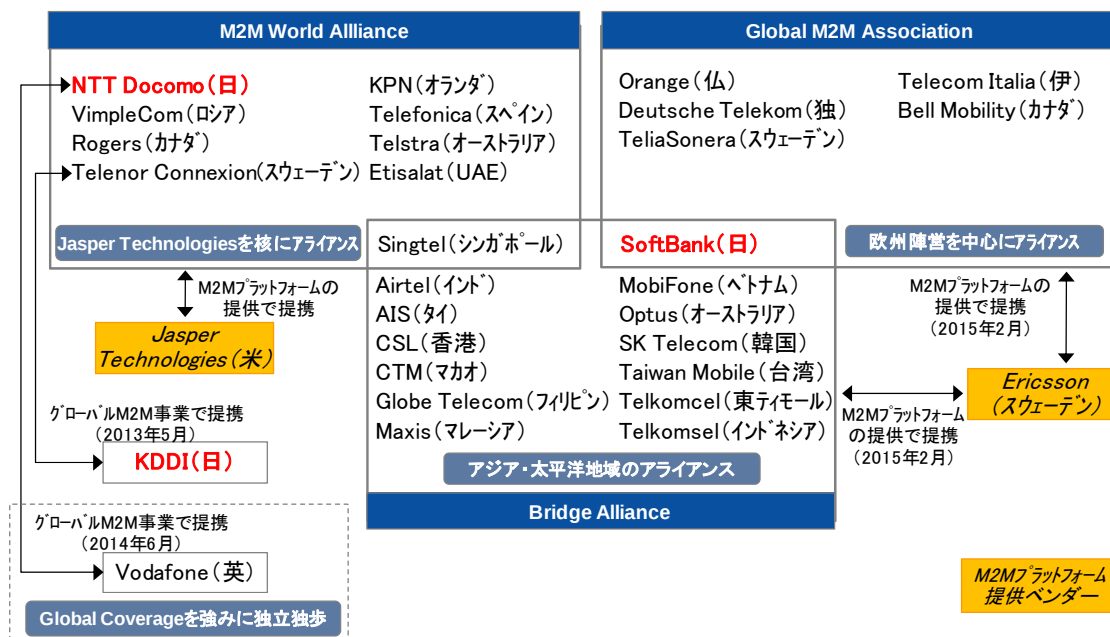


図 1-9 通信キャリア間の M2M アライアンス

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

IoT プラットフォーム / アプリケーション

IoT プラットフォーム、アプリケーションを一体で提供する IBM、Microsoft、Oracle、SAP 等の大手 SI/ソフトウェアベンダーは代表的なプレイヤーとして挙げられる。

一方、後述する GE のように、①で挙げた製品・機器だけでなく、IoT プラットフォーム、アプリケーションを垂直統合的に提供するケースもある。また、各産業・用途別に個別のアプリケーションを開発・提供するソフトウェアベンダーは多数存在する。なお、1.3 (1) ③のとおり、IoT プラットフォームは、デバイスの接続管理やデータ収集・分析等の共通基盤的な機能を担う重要な位置づけにあることから、その成長性に着目して多数のベンチャー企業が立ち上がっている領域であり、Jasper Technologies、Wyless、Aeris 等の IoT プラットフォーム専門ベンダーが多数存在する。これらの IoT プラットフォーム専門ベンダーは、その多くが既に高い企業価値評価を受けており、一方で、こうした専門事業者は、事業としてのマネタイズ化には苦戦している面もあり、垂直統合型の事業展開を目指す他レイヤーからの M&A 対象としての注目度が高まることが想定される。例として、米ソフトウェアベンダーの PTC による ThingWorx および Axeda の買収や、Samsung Electronics によるスマート家電分野の IoT プラットフォームベンダー SmartThings の買収等の垂直統合型ビジネスの展開を志向した買収や、Sierra Wireless や Kore のような規模拡大を目的とした同業間の買収も繰り返されている (図 1-10)。

年月	被買収企業 (IoT プラットフォーム関連)			買収企業
	企業名	設立年	買収金額 (\$M)	
2014 年 11 月	RACO Wireless (米)	1991	142	KORE Wireless (米)
2014 年 8 月	SmartThings (米)	2012	N/A	Samsung Electronics (韓)
2014 年 7 月	Axeda (米)	2000	170	PTC (米)
2014 年 1 月	In Motion Technology (カナダ)	2002	19	Sierra Wireless (カナダ)
2013 年 12 月	ThingWorx (米)	2009	130	PTC (米)
2013 年 9 月	ILS Technology (米)	1971	9	Telit Wireless Solutions (英)
2012 年 8 月	Sagemcom (M2M 事業) (仏)	1924	56	Sierra Wireless (カナダ)
2012 年 6 月	Hughes Telematics (米)	2009	694	Verizon Communications (米)
2011 年 4 月	Telenor Connction (スウェーデン) (プラットフォーム事業)	2008	N/A	Ericsson (スウェーデン)

図 1-10 IoT プラットフォームベンダーの主な M&A

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

1.4 市場規模・経済価値

IoT の市場規模の見通しについては、様々な調査機関・企業から公表されているが、本節ではまず、米コンサルティング企業 McKinsey、米通信・ネットワークシステムベンダーの Cisco Systems による市場予測を取り上げる。両社はいずれも、表現は異なるものの、IT・ソフトウェア企業や電子部品メーカー、通信キャリア等のサプライヤーによる IoT 関連の製品・サービスの直接的な売上のみを捉えるのではなく、IoT を導入する企業のオペレーションの効率化を通じて実現されるコスト削減効果やマーケティングの高度化に伴う売上増加等の“ユーザー側の経済効果”も含めた全体的な効果を“IoT によりもたらされる経済価値”として試算している。McKinsey は、2025 年における IoT による潜在的な経済効果 (economic impact) として、消費者余剰²³を含む経済効果を 3.9～11.1 兆ドルと予測、Cisco Systems は、2013 年から 2022 年までの 10 年間に IoE がもたらす民間および公共セクターにおける 経済価値 (Value At Stake) の合計を 19 兆ドルと算出している。

次に米 IT アドバイザリ企業 Gartner による市場予測を取り上げる。Gartner は前述の 2 社と異なり、IoT のサプライヤーによる IoT 関連サービスの市場規模²⁴のみを算出しており、同市場は 2014 年の 523 億ドルから 2020 年には 2,628 億ドルへと年率 31% の高い成長性で拡大することが予測されている。

以上の各社の公表値等を踏まえると、2025 年における IoT のもたらす経済価値は、8 兆ドルもの規模感に達するものと推計される (図 1-11)。これは直近 (2014 年) の日本

²³ 消費者の支払許容額から消費者が支払った価格を差し引いたもの

²⁴ Source: Gartner, "Forecast: Internet of Things, Endpoints and Associated Services, Worldwide, 2014", 20 October 2014
IoT 関連サービス: Connectivity Services、Consumer Services、Professional Services (コンサルティング、システム開発、運用) が含まれる。

の GDP（約 5 兆ドル）とドイツの GDP（約 3 兆ドル）を合算した額に匹敵する規模であり、IoT が如何に多大なる付加価値を創出し得るか、IoT への世の中の期待の高まりの裏付けあるいは各社の IoT への取り組みの動機付けとなる参考数値となろう。

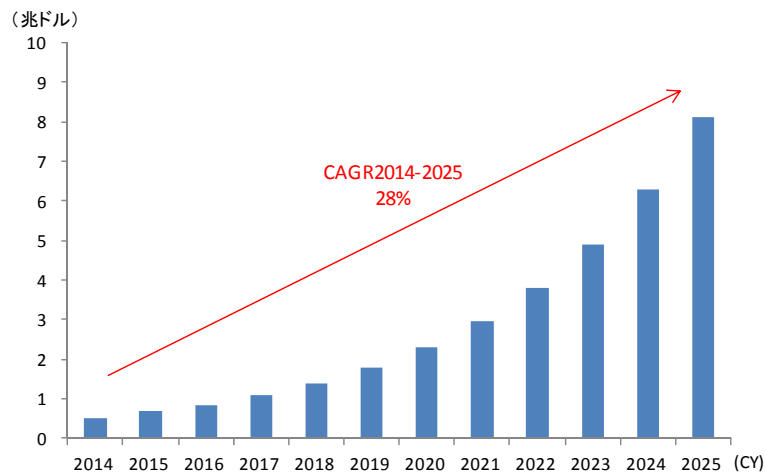


図 1-11 IoT が付加する経済価値（2014CY-2025CY）

（出所）みずほ銀行産業調査部作成

但し、ここで、IoT のもたらす経済価値の意味を改めて考えると、IoT のサプライヤーの直接的な売上に対して、IoT の導入によるコスト削減効果や売上増等のユーザー側の経済効果の方が大きなウェイトを占めると考えられている点、留意が必要と考える。例えば、前述の Gartner の IoT 関連サービス市場予測と図 1-11 に示す IoT の経済価値予測を踏まえると、IoT の付加する経済価値全体のうち、IoT 関連サービスとして IoT のサプライヤーの売上が占める比率は約 1 割程度と推計される。残りの大宗は、ユーザー側の経済効果と推測されるが、このユーザー側の経済効果は GDP の拡大に直結するものではない。例えば、IoT のユーザー企業がコスト削減によって増加した利益が再投資に向けられるか、あるいは利益率向上が賃金の引き上げに繋がり、個人消費が拡大するなどの連鎖反応の結果として、その一部は GDP に寄与しうる。あるいは、IoT のサプライヤー側の視点に置き換えると、IoT の導入によりユーザー企業にもたらされたコスト削減効果を原資とした対価をユーザーから得ること、つまり課金モデル・マネタイズ化を実現できれば GDP の拡大に繋がる。そして、IoT のサプライヤーに適正な便益がもたらされることで、事業が安定化し、継続的な開発投資→サービスの高度化→ユーザーへの導入拡大といった好循環が回り、結果として IoT の更なる普及・進展を加速させる原動力になりえるものと考えられる。この点で IoT におけるマネタイズは重要と考えられ、IoT におけるマネタイズに成功しつつある GE の事例を 2.2 節 GE「Industrial Internet」にて取り上げるほか、IoT における課金モデル・マネタイズの論点について、4.3 節「日本企業の取り組みの方向性」にて後述する。

1.5 IoT による価値創造

あらゆるモノがインターネットに繋がり、多種多様なデータの取得が可能な IoT の時代において、IoT ビジネスの本質は、“モノ” から収集した“データ”の利活用により、新たな「価値」を創造し、コスト削減、売上拡大を通じて「経済的な利益」を得ることにある。Cisco Systems によれば、2020 年には世界で 500 億台の“モノ”がインターネットに繋がると予測されており、一人あたりに換算すると 6.58 台にものぼる。また、これらの IoT デバイスから生み出される膨大なセンサデータを含めると、2020 年には 40 ゼタバイト²⁵ものデータが生み出されると予測されている。IoT において、モノから収集する“データ”こそが付加価値の源泉であり、更に多種多様かつ膨大なデータの分析・処理（＝所謂ビッグデータ活用）により、付加価値を創造することが求められる。

この IoT による価値創造の類型として、コスト削減に繋がる（1）業務オペレーション最適化、（2）リスク管理、売上拡大に繋がる（3）マーケティング戦略の高度化、（4）新規事業創出の 4 点が想定される（図 1-12）。

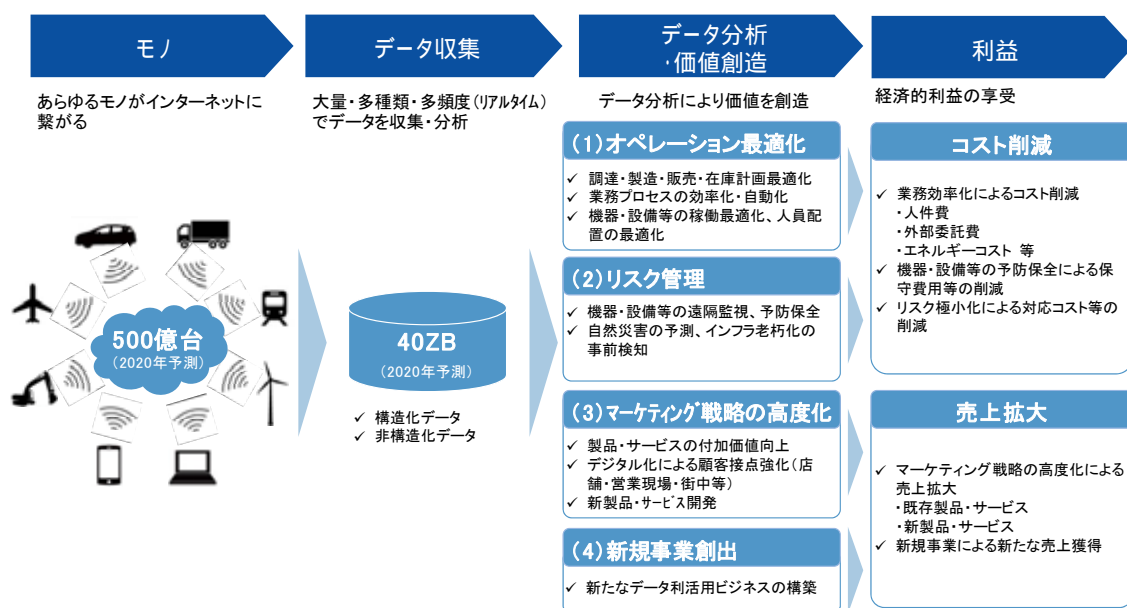


図 1-12 IoT による価値創造の類型

（出所）みずほ銀行産業調査部作成

（1）オペレーション最適化

温度、気圧、降雨量等に関わるセンサの活用による天候予測の精緻化やソーシャルデータの分析等により、需要予測を高度化することで調達・製造・販売・在庫計画の最適化が見込まれる。また、各種部品、製造装置等に RFID、センサを搭載し、データ収集・

²⁵ ゼタバイト＝1 兆ギガバイト

分析ならびに製造装置の自動制御により、製造プロセスの効率化・自動化等が可能となるほか、産業機器の稼働データを分析し、稼働状況・環境に応じて高度に制御することで、稼働の最適化が可能となる。加えて、GPS やビーコン等の活用により、人の位置・行動データを分析することで、人員配置の最適化等の実現も可能となる。

(2) リスク管理

機器の稼働状況の遠隔監視や稼働データの分析の高度化により、機器の故障リスクを事前に検知する予兆検知の高度化が可能となり、故障発生による保守費用の削減が見込まれる。また、自然災害の予測やインフラ老朽化の事前検知により被害の未然防止や極小化も見込まれる。

(3) マーケティング戦略の高度化

マーケティングとは売れる仕組みを作ることであり、IoT が企業の製品あるいはサービスの売上増をもたらす様々な仕組み作り・戦略策定に貢献することが期待される。例として、製品（Product）、価格（Price）、流通（Place）、プロモーション（Promotion）の4P のフレームワークに従い、想定される効果を挙げてみよう。“製品”では、製品・サービスがインターネットに“繋がる”ことで、機能・利便性等の付加価値が向上し、他社製品・サービスとの差別化が可能となるほか、企業内外に分散した多種多様なデータの収集・分析により顧客の潜在的ニーズを明らかにし、新製品や新サービスの開発に活かすことも期待される。また、“価格”では、製造プロセスの高度化により製造原価を低減し、価格競争力の向上に繋がるだろう。“流通”、“プロモーション”では、WEB サイト、コールセンター等の従来のオンラインチャネルに加え、タブレットやスマートフォン、デジタルサイネージ等の利活用の高度化により、営業現場、店舗、街中などでの“デジタル化”による顧客接点の強化が見込まれる。

(4) 新規事業創出

IoT により、既存のビジネスモデルを超えた、新たなビジネスモデル・新規事業の創出が期待される。ベンチャー企業を中心に IoT のコンセプトに基づく様々なビジネスモデルが生まれているが、例として、スマートフォンを活用したタクシー配車サービスの米 Uber や、個人間での家・部屋の貸し借りを仲介する米 Airbnb など、スマートフォン、位置情報等を活用して、車や家などの資産を共有する「シェアリングエコノミー」と言われるビジネスモデルが注目を集めている。いずれの企業も売上高は開示されていないが、企業価値評価については、Uber は 500 億ドル、Airbnb は 250 億ドルと、そのビジネスモデルと成長性に対して、非常に高い評価がついている。

1.6 産業別のIoTのユースケース

IoTは“あらゆるモノがインターネットに繋がる”という広い概念であり、全ての産業に関わると言っても過言ではない。ここでは各産業において進められている、あるいは今後進むと想定される産業別のIoTのユースケースを例示する（図1-13）。

産業	IoTのユースケース(例)
産業機器 製造	✓ 機器の稼働状況の遠隔監視による稼働実績の把握、故障予兆検知、機器の稼働最適化 ✓ RFID、センサー等を活用した製造プロセスの高度化(産業オートメーション)
自動車	✓ インフォテイメント(マルチメディア、SNS、音声通信、位置情報を活用したサービス等)の提供 ✓ 車載センサ(カメラ、レーダー、加速度等)、位置情報等を活用した自動車車両制御の高度化(運転支援、自動運転等)
医療 ヘルスケア	✓ ウェアラブルデバイス等で収集したバイタルデータと、遺伝子データ、疾病・診断データの分析による予防医療の推進 *血圧、脈拍、血糖値、活動量、睡眠時間、食事内容
金融	✓ NFCによるモバイル決済、携帯電話によるモバイル送金サービス ✓ ドライバーの運転傾向に基づく自動車保険の保険料算定
小売	✓ RFIDによるトレーサビリティ、販売・在庫管理 ✓ 位置情報を利用したクーポン配布等の販売促進、人流解析による売り場の動線や商品陳列の最適化
物流	✓ 各種センサを活用した配送状況に関わるトレーサビリティの確保、渋滞予測等を活用した集荷・配送業務の効率化 ✓ 車両稼働データ、ドライバーの運転傾向分析等による故障・事故等の予兆検知
エネルギー	✓ 仮想発電所(VPP)による分散電源の電力供給調整、デマンドレスポンス(DR)による需要家の電力消費量の自動制御 ✓ 家庭内、ビル、工場内の電力消費量の制御・最適化(HEMS/BEMS/FEMS)
農業 畜産業	✓ 気象データ、土壌データ、農作物収量データ等を元にした収量予測、最適化 ✓ 家畜のバイタルデータ(体温・脈拍・活動量等)のモニタリングによる体調管理、分娩時期の把握
家電	✓ 照明、空調、HDDレコーダー等、ロボット掃除機等の遠隔操作、子供・高齢者の見守り家電 ✓ 調理家電とレシピサイトとの連携による自動調理
公共インフラ (道路・水道等)	✓ 道路・橋梁・建物・トンネル等の歪み・ねじれ等の遠隔監視による崩落事故等の予兆検知・異常検知 ✓ 水道配管の遠隔監視による漏水検知

図1-13 産業別IoTのユースケース(例)

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

(1) 産業機器、製造業

産業機器、製造分野では、GEのIndustrial InternetやドイツのIndustrie 4.0が代表的な事例として挙げられる。GEのIndustrial Internetは、産業機器にセンサと通信機能を搭載し、機器の遠隔監視による稼働状況の把握や、高度なデータ分析による故障の予兆検知、機器の稼働最適化を行うものであり、ドイツのIndustrie 4.0は、RFID、センサ等を部品、製造装置等に搭載し、データ収集・分析により、製品開発・製造プロセスの高度化を目指す取り組みである(詳細は第2節ご参照)。

(2) 自動車

自動車分野では、従来のカーナビゲーション・システムの機能の拡張による動画・音楽のストリーミング配信や音声認識システム、位置情報等の活用により、周辺の商業施

設を案内するようなコンシェルジュサービスの提供等、所謂インフォテイメント²⁶系のテレマティクス²⁷サービスの提供の進展が想定される。また、画像センサ、レーダー、加速度センサ、位置情報等の活用による自動車の運転支援の高度化や、近未来における自動運転の実現に向け、各社が検討を進めている（詳細は第2部第1節ご参照）。

(3) 医療・ヘルスケア

ヘルスケア・医療分野では、予防医療への活用が挙げられる。個人が装着したウェアラブルデバイスにより、血圧、脈拍、活動量、睡眠量、血糖値等のバイタルデータを日々収集し、医療機関の診療データや薬局の調剤データ、更には個人の遺伝子データを組み合わせた高度なデータ分析が想定される。これにより、個人の遺伝子配列の特性を踏まえた生活習慣と生活習慣病等の各種疾病との相関関係を明らかにすることで、予防医療への活用や One to One の効果的な治療法の選択が可能になることが想定され、個人の健康の推進とともに医療費の削減が期待される。

(4) 金融

金融分野では、NFC²⁸によるモバイル決済や、スマートフォンによるモバイル送金などのモバイルペイメントサービスが含まれる。また、自動車保険では、ドライバーの運転傾向を元に保険料の掛け金を算出するような商品も発売されている。具体的には、自動車にドライブレコーダーを設置し、ドライバーの運転実績を分析することで、速度超過、急発進・急ブレーキ等の危険運転の傾向が少ない優良ドライバーと判定されるケースでは、保険料を割引くような商品である。

(5) 小売

小売分野では、商品に RFID タグを付与することで、在庫、発注、販売管理の効率化、商品のトレーサビリティの確保等が可能となる。また、マーケティング面では、スマートフォンや自動車等の位置情報やビーコン等を利用して特定の場所に来訪した顧客に対してクーポンを配信する仕組みや、店舗内等に設置したデジタルサイネージの活用等の One to One マーケティングの高度化のほか、ネットワークカメラを用いて人流・導線の解析を実施し、売り場の導線や商品陳列方法の改善に活かすことが想定される。

(6) 物流

物流分野では、RFID、温度センサ、加速度センサ等の活用により、配送中の温度、衝撃等のコンディションのトレーサビリティの確保や、配送状況のリアルタイム追跡が可

²⁶ Information（情報）と Entertainment（娯楽）から作られた造語。情報と娯楽を融合したもの

²⁷ Telecommunication（通信）と Informatics（情報工学）から作られた造語。自動車などの移動体向けに通信システムを利用して、リアルタイムに情報サービスを提供すること

²⁸ Near Field Communication

能となる。また、トラックの位置情報、渋滞予測情報等の活用による集荷・配送業務の効率化や、ドライバーの血圧、脈拍、血糖値、居眠り、飲酒等をセンサで検知し、運転事故の防止に繋げることが期待される。将来的にはトラックの自動運転や、ドローン（無人機）を宅配に用いる革新的な構想など、様々な利活用が想定される。

(7) エネルギー

エネルギー分野では、電力会社の発電所だけでなく、企業の自家発電、家庭用の再生可能エネルギー、EV の蓄電池など、複数の分散電源を通信ネットワークで統合的に制御・管理し、システム全体の電力供給量を調整する仮想発電所（VPP²⁹）や、需要家の電力使用量を自動制御するデマンドレスポンス、家庭内、ビル、工場内の電力消費量の制御・最適化に関わる HEMS、BEMS、FEMS³⁰等、電力需給の制御・最適化に関する取り組みの進展が想定される。

(8) 農業・畜産業

農業分野では、気温、照度、CO₂ 量、土壌の pH、水分量等を各種センサでデータ収集・分析することにより、農業者の永年の経験や勘に依存せずに農作物の収量の安定化・最適化を実現する取り組みが進められている。また、畜産業では、家畜のバイタルデータ（体温・脈拍・活動量等）を遠隔モニタリングすることにより、家畜の体調の管理や分娩時期の予測による分娩事故の削減を実現した取り組みが進められている。

(9) 家電

家電分野では、照明、空調、ハードディスクレコーダー、ロボット掃除機等の遠隔操作、調理家電とレシピサイトとの連携による調理の自動化、子供や高齢者の安否確認用の見守り家電のほか、各種家電の稼働データの収集・分析による製品の品質改善や新製品開発への活用等のマーケティングの高度化等が想定される。

(10) 公共インフラ（道路・水道等）

近年発生したトンネル崩落事故が社会に与えた衝撃は記憶に新しく、日本各地の道路、橋梁、トンネル等のインフラの老朽化が進む中、事故の未然防止のためのインフラの点検・管理の徹底が求められる。そこで、道路、橋梁、トンネル等に各種センサを設置し、通信・ネットワークを介して常時モニタリングすることで、圧力センサによる歪みの検知、超音波センサによる劣化診断等、崩落事故の予兆検知を実現することが期待される。同様に水道配管の漏水時の振動や音を検知するセンサの設置も進められており、センサネットワークのインフラモニタリングへの活用の進展が期待される。

²⁹ Virtual Power Plant

³⁰ Factory Energy Management System

2. 世界の IoT の潮流 - 新たな産業革命の幕開け -

“IoT が新たな産業革命を起こす” といったドイツの「Industrie 4.0」や米国 GE の「Industrial Internet」などに代表されるビジョン、取り組みに産業界からの注目が集まっている。いずれも、18 世紀後半の蒸気機関を動力源とした工業化がもたらした「産業革命」を基点とし、ドイツは、電力利用による大量生産（第 2 次産業革命）、産業オートメーション（第 3 次革命）に次ぐ、“第 4 次産業革命” を標榜し、GE はインターネット革命（第 2 の波）に次ぐ“第 3 の波” と捉えている。

本節では、世界における IoT の潮流として、GDP の約 2 割を製造業が占め、ものづくりに強みを持つドイツが、企業の枠を超えて、産学官一体となって次世代のものづくりの実現を目指す「Industrie 4.0」と、世界最大のコングロマリットである GE が、自社の強いハード（航空機エンジン、ガスタービン、鉄道車輛、医療機器等）とソフトウェア・サービスとの融合により新たな付加価値の創造を目指す「Industrial Internet」の 2 つを代表的な IoT の取組事例として紹介する。

この 2 つの取り組みを概説すると、Industrial Internet は、IoT を活用した産業機器等の遠隔監視、予防保全の高度化、オペレーション最適化等を通じ、主としてアフターサービス領域で新たな付加価値の創出を図ろうとしているものであるのに対し、Industrie 4.0 は、製造プロセスの垂直統合と製品ライフサイクル及びバリューチェーンの水平統合を実現する高度な生産システムの構築により製造業の生産性を高める事を目的としたものである。この 2 つは、IoT を活用した製造業の高度化という共通点はあるものの、フォーカスしているビジネス領域が異なっているものと理解され（図 2-1）、次節より具体的内容を考察する。なお、Industrie 4.0 については、2015 年 6 月 10 日発行のみずほ産業調査「特集：欧州の競争力の源泉を探る ―今、課題と向き合う欧州から学ぶべきことは何か―」にて、“ものづくりの潮流変化「Industrie 4.0」” の項でとり上げているので、合わせて参照されたい。

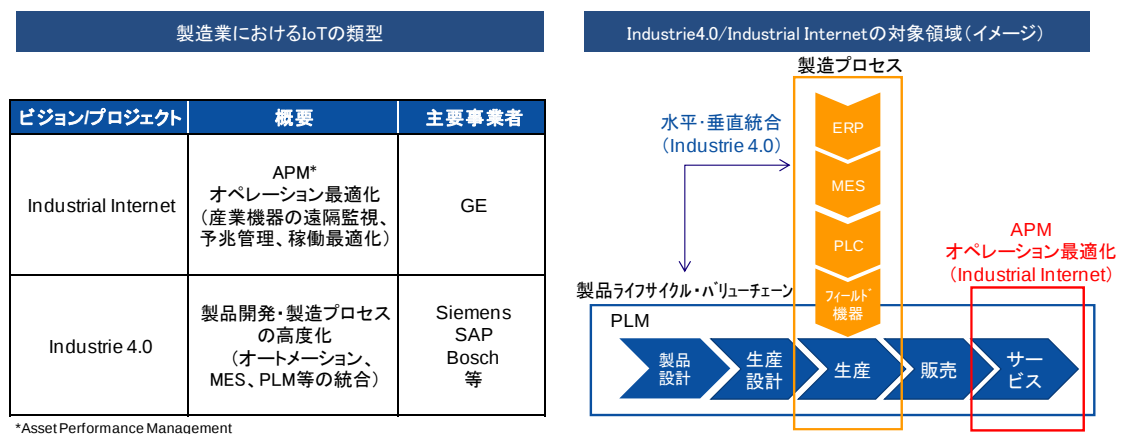


図 2-1 Industrial Internet と Industrie 4.0 の相違点

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

2.1 ドイツ「Industrie 4.0」

(1) Industrie 4.0 概要

ドイツの Industrie 4.0 は、ドイツのイノベーション推進政策の一部であり、ドイツの強みである機械、設備に関する生産技術と ICT を掛け合わせた次世代のものづくりを先導するための施策と位置付けられている。ドイツ政府は、Industrie 4.0 において、2 つの狙い（デュアル戦略）を掲げ、同時に達成していく事を目指している。第 1 の狙いは、ドイツの機械、設備産業が今後も世界市場で主導的な地位を維持することである。ICT と伝統的な製造業の生産技術を統合することにより、ドイツ企業がスマート製造技術・機器のリーディングサプライヤーになることを目指している。第 2 の狙いは、低賃金を背景とした中国等のアジア地域での低コスト生産が拡大する中、ICT と生産技術を組み合わせた高効率な生産を行い、ドイツの製造業の競争力強化を実現すると共に、生産拠点としてのドイツのポジションを維持・拡大しようとするものである。また、具体的な成果目標（KPI）として、「2025 年までに米国、中国を抜いて輸出世界第 1 位になる」との明確な目標を掲げている点は特筆すべき点と言えよう。

コンセプトは生産技術と ICT の統合、且つ企業を超えた連携体制の構築であり、製造業が直面している生産性向上等の課題を IoT を活用した高度な製造プロセスの構築によって解決していく方針である。ドイツは Industrie 4.0 という国家プロジェクトの下、IoT や生産の自動化（Factory Automation）技術を駆使し、生産プロセスに係る各種データや製品販売後の使用データ等を工場内外のモノやサービスと連携させることで、今までにない価値や新しいビジネスモデルの創出を目指している。

(2) Industrie 4.0 が目指す生産システム

Industrie 4.0 が目指す生産システムで核となる部分は、製造プロセスの垂直統合と製品ライフサイクル及びバリューチェーンの水平統合を行い、更にこの 2 つを統合することにある（図 2-2）。現状、工場内のソフトウェアや制御、フィールド機器間を繋ぐインタフェースは統一されておらず、生産ラインを変更する際は各機器やソフトを繋げていくエンジニアリングに多くの労力を要すると言われている。Industrie 4.0 では、これを解決するために機器に組み込まれたソフトウェア領域のインタフェースを標準化していく事で ERP³¹（統合業務パッケージ）や MES³²（製造実行システム）が位置する上位階層と制御やフィールド機器の下位階層をシームレスに繋げていくモデルを構築し、更にこのシームレスに垂直統合された生産システムを、水平統合された PLM³³（製品ライフサイクル管理）とも連携させることを目指している。こうした生産システムとバリューチェーンの融合により、エンドユーザーの需要に応じたマスカスタマイゼーション³⁴を可能とする生産システムの構築を目指しているのである。

³¹ Enterprise Resource Planning

³² Manufacturing Execution System

³³ Product Life cycle Management

³⁴ マスプロダクション（大量生産）並みの低価格でカスタムメイド、オーダーメイドを実現すること

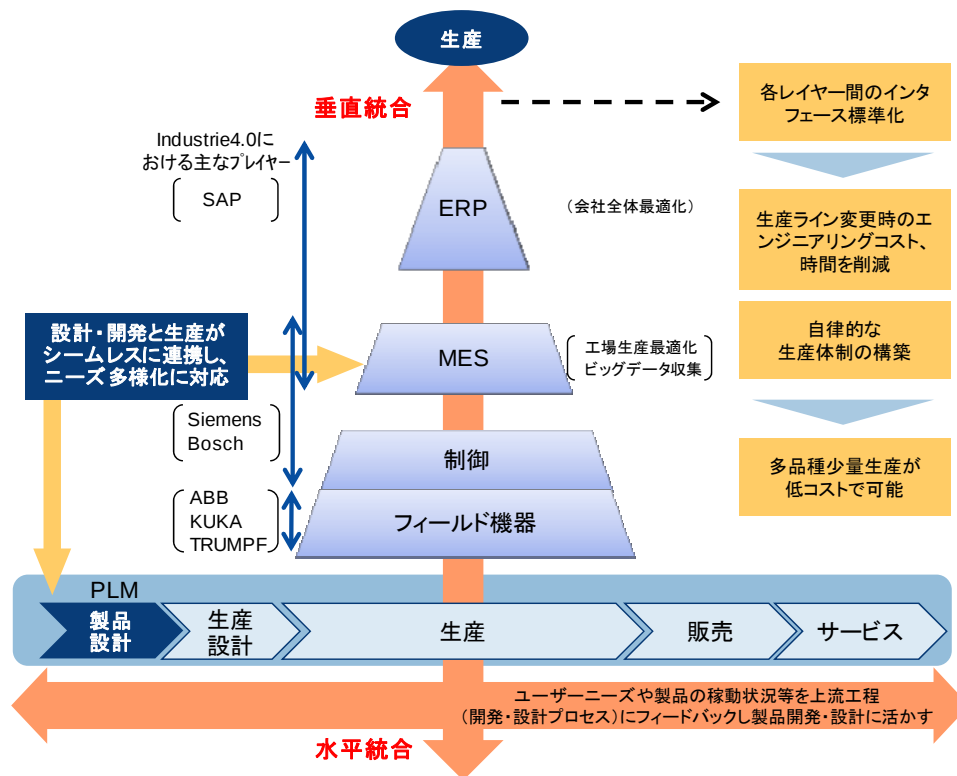


図 2-2 Industrie 4.0 における十字の連携体制（イメージ）

（出所）みずほ銀行産業調査部作成

2.2 GE「Industrial Internet」

GE（General Electric Company）は 1878 年に発明家トーマス・エジソンが創業した世界最大のコングロマリッド企業であり、ダウ工業株 30 種平均の算出以降、継続して構成銘柄に残っている唯一の企業である。本節では、130 年以上の歴史を持つ GE の IoT 時代の到来を見据えた戦略「Industrial Internet」について考察する。

(1) Industrial Internet の概要

2012 年 11 月、GE はネットワークに接続された“産業機器”と、クラウドベースの高度な“分析”ソフトウェアを結びつけることにより、コスト削減等の付加価値を創造する「Industrial Internet」構想を公表した。具体的には、GE 製のガスタービン、航空機エンジン、医療機器等の産業機器にセンサを取り付け、インターネット経由で稼働データを収集・分析し、機器の保守・メンテナンスおよび稼働の最適化等に生かすものであり、“産業機器と IT の融合”とも言える取り組みである。GE は、Industrial Internet がもたらす経済効果のイメージとして、仮に各産業で 1%のコスト削減を実現した場合、世界で年間 200 億ドルものコスト削減効果を創出できるとの試算を公表している。

(2) Industrial Internet の特徴

この GE の Industrial Internet について、「機器の遠隔監視・保守サービス」と単純に捉え、“昔からある”、“新しくない”とする指摘も見受けられる。確かに、各種機器を通信・ネットワーク回線に接続し、リモート環境で稼働状況を監視する取り組みは予めより行われている。日本でも例えば、リコーは 1995 年に複写機の遠隔診断システムを開始し、機器の稼働状況をネットワークを通じて常時監視し、定期点検時期や紙詰まりの発生状況などのメンテナンス情報を遠隔管理するサービスを提供開始したほか、コマツは 2001 年より自社の建機の遠隔監視機能を標準装備した KOMTRAX を提供している。では、GE が改めて世界に向けて提唱した Industrial Internet の本質、狙いは何なのか。以下に Industrial Internet の特徴を挙げ考察する（図 2-3）。

項目	概要
顧客価値創造	✓ ハード・ソフト・サービス融合による新たな顧客価値の創造 - ー 予防保全の高度化…ダウンタイムの低減、逸失利益の極小化 - ー オペレーション最適化…燃費、電力コスト削減、出力最適化による売上増
課金モデル・マネタイズ	✓ Predictivityソリューションの売上：顧客に与える経済的便益の対価 ✓ CSAの採算性向上：成果ベースのCSAの売上増、GE側の保守コスト低減による利益率向上
ケイパビリティの獲得	✓ ソフトウェア技術者、専門職の大量採用、IT・ソフトウェア企業幹部の招聘 ✓ IoTプラットフォーム「Predix」、アプリケーション「Predictivity」の共同開発
プラットフォーム戦略	✓ IoTプラットフォーム「Predix」の外部提供
ビジョン	✓ 先見的ビジョンの顧客・パートナーとの共有、啓蒙による新たな市場の創造 ✓ 製造業における将来ビジョン「Future of Work」の新たな発信

図 2-3 GE の Industrial Internet の特徴（まとめ）

（出所）GE 公表資料等を基にみずほ銀行産業調査部作成

ハード・ソフト・サービス融合による新たな顧客価値の創造

IoT デバイスの原型とも言えるスマートフォンは、各種センサ、MPU、OS、通信機能等を搭載し、インターネット経由でのデータ送受信や、アプリケーションの追加・修正等が可能なデバイスであり、その機能・性能は、ハードウェア単体ではなく、ソフトウェア・サービスと融合することで発揮される。GE の Industrial Internet は、産業機器がインターネットに繋がる“IoT 化”の進展を想定し、ハードウェア単体の機能・性能競争を超え、高度なソフトウェア・サービスとの融合を図ることで新たな顧客価値を創造する取り組みと考えられる。具体的には各種センサを装着した産業機器から従来の遠隔監視を超える多量・多種類・多頻度のセンサデータを収集し、高度なデータ分析・処理を行う所謂ビッグデータ分析を通じて、1) 予防保全の高度化 2) オペレーション最適化を実現するものである。

1) 予防保全の高度化

製造業において、製品の売り切りではなく、製品販売後の保守・メンテナンスサービスを包括的に提供することは、安定的な収益の獲得、顧客との継続的な接点確保等の観点で重要であり、製造業における“サービス事業”の典型例である。GE は、前 CEO の Jack Welch の時代よりサービス契約（CSA³⁵）の獲得への注力を進めている。直近の 2014 年度業績を見ると、サービスが産業部門の売上の約 4 割、利益の 8 割超を占め、利益率は産業部門全体の 2 倍を誇るなど、サービスを中心とした収益構造となっていることがわかる（図 2-4）。この保守・メンテナンスサービスは、故障等の発生の都度に行う事後保全と、事故が起こる前に行う予防保全の大きく 2 つに分類される。更に、予防保全は一定期間に行う時間基準保全（Time based Maintenance）と、機器の状態に応じて効率的に行う状態基準保全（Condition based Maintenance）に分けられる。センサ、ネットワーク等を活用した機器の遠隔監視・保守サービスは、故障等の異常を事前に検知する状態基準保全を行うものであり、予てより GE を含む製造業各社が取り組んでいる。

GE が Industrial Internet で目指すのは、産業機器の稼働状況に関わるビッグデータ分析により、機器の劣化や異常等の予兆検知や部品の交換タイミング等の予測を従来よりも高い精度で実現することであり、データ分析による予防保全の高度化と解せられる。これにより、GE は顧客に対して想定外の機器のダウンタイムの低減とそれによる逸失利益の極小化（売上増）等の収益効果をもたらすことが可能となる。

(金額単位: \$B)

	Revenues			Segment Profit			Margin	
		(内訳) Service	比率		(内訳) Service	比率		(内訳) Service
Power & Water	27.6	13.0	47%	5.4			19%	
Oil & Gas	18.7	8.6	46%	2.6			14%	
Energy Management	7.3	2.0	28%	0.2			3%	
Aviation	24.0	11.5	48%	5.0			21%	
Healthcare	18.3	8.1	44%	3.0			17%	
Transportation	5.7	2.8	49%	1.1			20%	
Appliances & Lighting	8.4	0.5	6%	0.4			5%	
産業部門計	109.9	46.4	42%	17.8	14.8	83%	16%	32%

図 2-4 GE 産業部門業績（2014 年度 セグメント別）

（出所）GE 2014 Annual Report よりみずほ銀行産業調査部作成

2) オペレーション最適化

産業機器の稼働状況等に関するビッグデータ分析を元に高度なソフトウェアによるコントロールを実施することで、機器の予防保全だけでなく、機器の稼働を含むオペレーション全体の最適化を実現することが可能となる。これらは、GE の顧客に対して電力

³⁵ Contractual service agreement

コストや燃料費の削減、売上増加等の経済的利益をもたらすものであり、各産業分野・機能別に SaaS³⁶型の Predictivity³⁷ソリューションとして提供が進められている（図 2-5）。例として、航空事業では、「Flight Efficiency Services（FES）」の独自のアルゴリズムを用いて、機体、運航、気候、整備等に関する膨大なデータをタイムリーに分析することで、航空機の運航順序調整や飛行計画の最適化、および燃料効率の改善などの効果を訴求しており、AirAsia（マレーシア）への導入事例では、2017 年までに 3,000 万ドルの燃料削減効果が見込まれている。また、風力発電事業では、「Wind PowerUp」により風力タービンの設置された環境や立地の状態を考慮しながら、風力発電所の出力を最大 5%増加させることが可能と訴求しており、E.ON（ドイツ）への導入事例では、GE 製の 283 基の風力タービンの出力量が 4%増加したとの成果が公表されている。

産業分野	Predictivity ソリューション (例)	顧客	顧客の成果(見込み含む)
Oil & Gas	Intelligent Pipeline	Columbia Pipeline Group(米国)	15,000 マイルもの天然ガスパイプラインのリアルタイムモニタリングによるダウンタイム低減
Transportation	Movement Planner	Norfolk Southern(米国)	鉄道の運行速度を 10%改善
Aviation	Flight Efficiency Services	GOL Airlines(ブラジル)	5 年間で 9 千万ドルの燃費削減
		AirAsia(マレーシア)	2017 年までに 3 千万ドルの燃費削減
Power & Water	Advanced Gas Path	Dubai Aluminium(UAE)	3.4%の発電量増加、燃費向上
	Wind PowerUp	E.ON(ドイツ)	283 基の風力タービンの出力量を 4%増加
Healthcare	Hospital Operations Management	St. Luke's Medical Center(米国)	ベッドの空き時間や患者の待ち時間を 51 分間短縮

図 2-5 GE Predictivity ソリューション導入事例

（出所）GE 公表資料よりみずほ銀行産業調査部作成

課金モデル・マネタイズ

①に示した Industrial Internet がもたらす顧客側の利益に対して、GE 側の利益は主に 1) Predictivity ソリューションの売上 2) 既存の CSA の採算性向上の 2 点と考えられる。

1) Predictivity ソリューションの売上

GE の Predictivity ソリューションにより、顧客側にもたらされるコスト削減、売上増等の経済的付加価値の対価として、既存の CSA をベースに、プロフィットシェアのような課金モデルを新たに付加してパフォーマンスにコミットする契約体系で対価を得るものである。

³⁶ Software as a Service

³⁷ GE がエネルギー、運輸、航空、ヘルスケア分野の顧客に対して提供するアプリケーション。資産パフォーマンス管理（APM）およびオペレーション最適化等を実現。

2) CSA の採算性向上

既存の CSA の枠組の中で、GE 側の保守・メンテナンスに要するコストの低減や、成果ベースの CSA における売上増等により、CSA の採算性向上を実現するものである。一例を挙げると、既存の CSA において、一定期間に対して定額で保守・メンテナンスサービスを提供するようなケースでは、予防保全の高度化により、機器の保守・メンテナンスに関わる材料の使用量の削減、部品のライフサイクルの伸長等のコスト削減効果が発揮された場合、GE の CSA の利益率の向上に繋がる。また、機器の稼働時間に応じて料金が支払われるような成果ベースの CSA では、機器のダウンタイムの低減により CSA の売上増がもたらされる。

GE によれば、Predictivity ソリューションに関連する売上は、2013 年度の 8 億ドルから 2014 年度には 14 億ドルへと拡大し、更に 2017 年には 40~50 億ドルを見込むとしている。この数字には、Predictivity ソリューションから直接得る売上以外に、既存の CSA に包括されるものも含まれる。CSA については、2014 年度は 1,895 億ドルもの受注残を有していることから、CSA の採算性向上によって、将来に亘ってもたらされる効果の大きさが伺える。GE の Predictivity ソリューションは、グローバルなインストールベースを活かし、直接的な売上増だけでなく、既存の CSA から如何に利益を生みだすかを狙った戦略と考えられる。

ケイパビリティの獲得 - ソフトウェア開発体制強化とオープンイノベーション

GE は、2012 年 11 月に「Industrial Internet」構想を公表する一方、その実現に向けて必要なソフトウェア領域を中心に、不足するケイパビリティを獲得すべく、戦略的かつ着実に取り組みを進めている(図 2-6)。2011 年 11 月、Industrial Internet の公表に先立ち、10 億ドル以上の資金を投じてビッグデータ関連の分析ソフトやサービスを開発するソフトウェア・センターをサンフランシスコ郊外に開設するとともに、Cisco Systems の元幹部の William Ruh を同センターのトップに迎えたほか、大手ソフトウェアベンダー等からソフトウェア技術者、専門職を新たに約 400 人新規採用することを発表した。2013 年 6 月には、ビッグデータ分析の共通基盤となるクラウド型の IoT プラットフォーム「Predix」の提供を発表した。GE Predix は、図 2-7 に示すとおり、AWS³⁸等の IaaS³⁹基盤上に構成される PaaS⁴⁰基盤である。また、データベースは Pivotal⁴¹との共同開発を実施し、膨大なセンサデータの収集、蓄積、分析等の高度な機能の提供を実現している。さらに、Predix 上で展開するアプリケーションは、Accenture との共同開発を含め、GE のエネルギー、運輸、航空、ヘルスケア分野の顧客に対し、資産パフォーマンス管理 (APM⁴²) およびオペレーション最適化を実現する約 40 種の SaaS 型の Predictivity ソリューション

³⁸ Amazon Web Services

³⁹ Infrastructure as a Service

⁴⁰ Platform as a Service

⁴¹ EMC、VMware、GE による合併企業

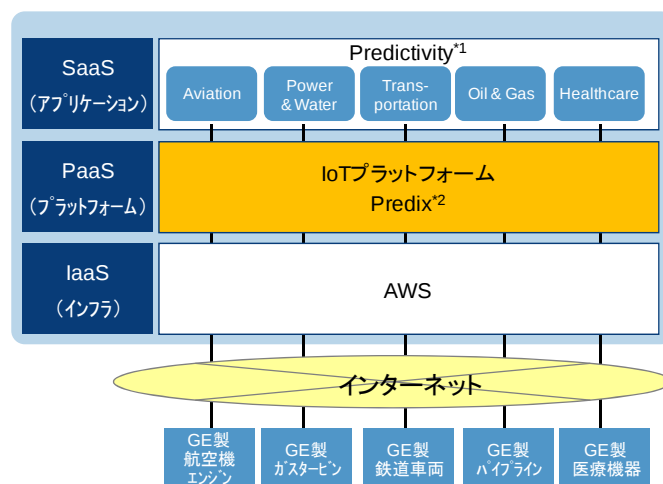
⁴² Asset Performance Management

を提供している。このように、GE は Industrial Internet の実現に向け、重要な鍵となるビッグデータ分析等の関連技術の開発体制を大規模な投資、外部人材登用等により強化したほか、他社の技術を利用するオープンイノベーションを積極的に活用し、IoT プラットフォーム「Predix」の構築およびアプリケーション「Predictivity」の開発を実現したのである。また、2014 年には Industrial Internet を推進するためのコンソーシアム「Industrial Internet Consortium」を GE、Cisco Systems、AT&T、IBM、Intel の 5 社で創設した。現状の参加企業は日本企業も含め 150 社を超えており、GE を中心とした巨大なエコシステムが形成されつつある。

年月	内容
2011 年 11 月	✓ 米カリフォルニア州サンフランシスコ近郊のサンラモンにビッグデータ関連の解析ソフトやサービスを開発するソフトウェア・センターを新設 ✓ Cisco の元幹部をソフトウェア・センターのトップに迎えたほか、ソフトウェア技術者と専門職 400 人を新規採用することを発表
2012 年 11 月	✓ Industrial Internet 構想を発表
2013 年 6 月	✓ AWS、Pivotal(GE、EMC、VMware による JV)、Accenture との提携により、クラウド型ビッグデータ向けプラットフォーム「GE Industrial Internet Analytics Platform」の提供を発表
2014 年 3 月	✓ Industrial Internet の普及推進団体「Industrial Internet Consortium(IIC)」を GE、AT&T、Cisco、IBM、Intel の 5 社が共同で設立
2014 年 5 月	✓ 制御システム向けセキュリティソリューションを提供するカナダの Wurdtech を買収
2015 年	✓ Industrial Internet における IoT プラットフォーム「Predix」を全ての企業にて利用可能に

図 2-6 GE の Industrial Internet における主な取り組み

(出所) GE 公表資料等よりみずほ銀行産業調査部作成



*1 石油・ガス、電力、鉄道、航空、医療等の各産業・機能別のアプリケーション

*2 Industrial InternetにおけるIoTプラットフォームであり、産業機器からのデータ収集、蓄積、分析等の機能を担う。
Pivotal (EMC、Vmware、GEによるJV)と共同開発

図 2-7 Industrial Internet プラットフォーム「Predix」イメージ

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

プラットフォーム戦略

GE は、2014 年 10 月、Industrial Internet における IoT プラットフォーム「Predix」を 2015 年には全ての企業で利用可能とすることを発表した。2015 年 7 月には、米 Pitney Bowes が GE との協業により郵便料金計器や紙折り機・開封機等の自社製品の予防保全、稼働最適化に関わるアプリケーションを GE Predix 上で開発し、自社顧客に提供することが発表されている。

GE は Predix を広く外部に提供することで、スマートフォンにおける Google の Android OS、Apple の iOS を中心としたエコシステムのように、Predix 上で稼働する各産業・機能別のアプリケーションのサードパーティによる開発と、アプリケーションラインアップの拡大を図ることで、プラットフォームの価値を高める戦略を採ったものと解される。今後の産業機器における IoT 化の進展を見据えると、GE 製・非 GE 製によらず、あらゆる産業機器を共通プラットフォームで統合的に管理したいといった顧客ニーズも想定される中、GE は Predix により、産業機器における IoT プラットフォーマーとしてのポジションを狙っているのではないかと（図 2-8）。また、こうした GE のプラットフォーム戦略は、他の企業にどのような影響をもたらすのであろうか。

まず、GE と競合する産業機器メーカーにおいて、自社の機器・サービスが、GE Predix 上で統合的に管理されるケースを仮定する。この場合、自社機器の IoT 化により顧客にもたらされる価値の対価を GE とシェアするだけでなく、自社機器・サービスの性能・機能が GE Predix の影響を受けることを意味する。このような従属的とも言えるポジションを容認しない GE の競合企業は、IT・ソフトウェア企業等との協業により、自社機器の顧客向けの IoT プラットフォームを準備するといった環境整備が必要となろう。なお、産業機器メーカーとして GE と双璧をなす Siemens は、SAP が提供する IoT プラットフォーム「SAP HANA Cloud Platform for the Internet of Things」を採用し、自社顧客向け IoT プラットフォーム「Cloud for Industry」を構築する計画（2015 年 11 月提供開始予定）を公表している。

次に、IBM、SAP 等の IT・ソフトウェア企業においては、今後の産業機器における IoT プラットフォームの提供を巡る競争という観点で、GE と直接的に競合すると考えられる。GE の強みであるグローバルなインストールベースを踏まえると、GE は顧客へのリーチの観点で比較優位なポジションにあるものと想定される。他方、プラットフォームの機能・性能面では、大手 IT・ソフトウェア企業が強みを有するのではないかと。今後、激しい競争が繰り広げられることが想定される。

他方、GE 製の産業機器のユーザー企業は、GE Predix 上で GE 製・非 GE 製の産業機器を統合的に管理することで利便性が高まることが想定される一方、GE Predix への依存度の高まりにより、スイッチングコストも高まることが想定される。

今後 GE は、競合する IBM、SAP 等の IT・ソフトウェア企業、Siemens 等の産業機器メーカーに対して、プラットフォームとしての競争優位性を高めるべく、Predix の機能・

性能向上のための継続的な開発投資や、サードパーティを活用した Predix 上で稼働するアプリケーションラインアップの拡大等、積極的な戦略をとるものと想定される。

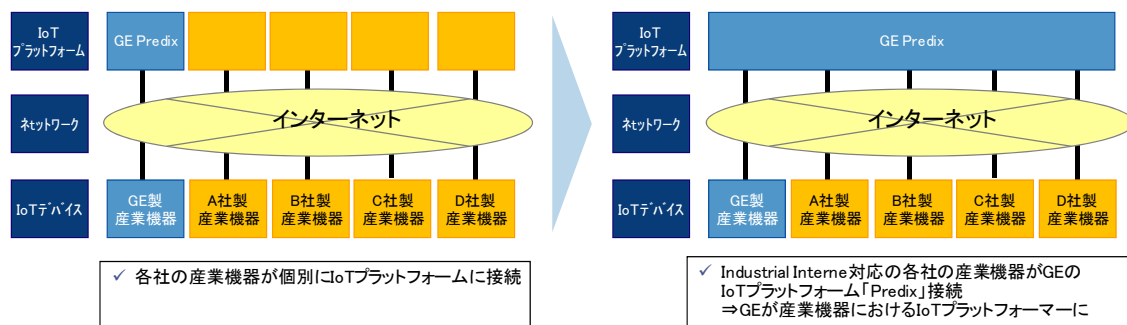


図 2-8 GE Predix による IoT プラットフォームの集約（イメージ）

（出所）みずほ銀行産業調査部作成

ビジョン

Industrial Internet は、2012 年 11 月に「Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines（インダストリアル・インターネット 一人と機械の境界が融合する）」と題するレポートを世界に向けて発信した。18 世紀後半の産業革命、1990 年代後半のインターネット革命に続き、Industrial Internet を第 3 の波と位置付け、産業革命の結果として可能となったグローバル産業システムとインターネット革命の一部として開発されたオープンコンピューティング／通信システムの融合によって、世界に大きなイノベーションの波が到来し始めていることを示した。また、Industrial Internet が今後 20 年で全世界の GDP に 10～15 兆ドル上乗せする効果があるとの試算を公表し、如何に大きな変革をもたらすのか、その経済的効果のポテンシャルの大きさを示した。

GE は、Industrial Internet という新たな戦略の実行にあたり、GE の新事業・サービスをプロダクトアウト的に前面に広告・宣伝するのではなく、まずは、ビジョンとそれが顧客にもたらしうる付加価値、経済的効果等をオープンかつグローバルに発信することにより、顧客、パートナー企業等と新たな世界観を共有し、啓蒙することで、新たな市場を創造することを狙った。こうした GE の取り組みは、巧みなマーケティング戦略であり、かつ前述のケイパビリティ獲得に大いに寄与するところとなっている。

更に、GE は、Industrial Internet の取り組みが脚光を集める中、2014 年 5 月には、製造業における将来的なビジョンとして、新たに「Future of Work」を発表した（図 2-9）。従来の Industrial Internet に加え、新たな設計・製造技術と新素材の登場に関する「Advanced Manufacturing」、ものづくりにおける人の役割の変化に関する「Global brain」の 2 つの構想を加えたものであり、それぞれ要約すると、「製品開発・製造プロセスの高度化」、「自動化に伴う雇用問題への対応」と解せられ、ドイツの Industrie 4.0 と類似したコンセプトとも考えられる。ドイツの Industrie 4.0 は国全体を挙げた取り組みであり、利害関係

の調整等に相応の時間を要すると想定されるが、GE はまず製品開発・製造プロセスを対象としたビジョンを示し、将来的には自社の強大なエコシステムを基盤として、次世代のものづくりへの取り組みを迅速かつ強力に主導していく可能性があるのではないかと。

項目	発表内容(概要)	要約
物理的世界とデジタル世界の融合 Industrial Internet	✓ センサーの価格やデータ取得におけるコストの劇的な低減により、大量データの高度な分析が可能となり、生産性向上の新たな知見を得ることが可能に ✓ ガスタービン、航空機エンジン、鉄道機関車、医療診断機器等の産業機器が、自己発見型・予知型・感応型・ソーシャル型ともいべきこれまでにないモデルに変容 ✓ 物理的世界とデジタル世界が融合したインダストリアル・インターネットによって、例えば機械が故障する前に事態を収め、個々の機器だけではなく病院や電力系統、航空機や貨物列車の運行といったシステム全体の最適化を図ることが現実	APM* オペレーション最適化 ✓ 遠隔監視、予兆検知 ✓ 機器稼働最適化 *Asset Performance Management
新たな設計・製造技術と新素材の登場 Advanced Manufacturing	✓ 3Dプリンタ等の新たな製造技術により、航空機エンジン向けのより軽量で強靱な部品等、新たな部品や製品の開発が可能となるほか、試作品を素早く、安価に製作でき、設計、製造等のプロセスのスピードアップを実現 ✓ アドバンスド・マニュファクチャリングはデジタル技術によって設計、エンジニアリング、製造、供給、流通ネットワークが一体化した「プリリアント・ファクトリー」を創出 ✓ アドバンスド・マニュファクチャリングは生産機能を分散化させ、従来は限定的だったものづくりのカスタム化を大規模に行う動きを加速化	製品開発・製造プロセス高度化 ✓ プロダクトライフサイクルの短期化 ✓ マスカスタマイゼーションの実現
ものづくりにおける人の役割の変化 Global Brain	✓ 技術の普及に伴い、つらく反復的な業務から人が開放される一方で、人間よりも機械のほうが優れた業務をおこなう領域も拡大 ✓ 自動化によって、人の仕事が機械に置き換わるという現象に加え、これまでの技能が時代遅れになり、トレーニングや雇用対策といった側面で短期的コスト負担が発生するという結果も ✓ しかし例えば創造性や起業家精神、対人コミュニケーションスキルといった、機械より優れているような人間の特性を改めて活用しようと注目が高まっている	自動化に伴う雇用問題への対応

図 2-9 GE Future of Work 概要

(出所) GE 公表資料を基にみずほ銀行産業調査部作成

(3) まとめ

Industrial Internet は、IoT 時代の到来とその多大なる可能性に着目し、ハード・ソフト・サービスの融合により新たな顧客価値の創造を目指す取り組みである。具体的には、GE がメーカーとして強みを持つ産業機器に多数のセンサと通信機能を搭載し、従来の遠隔監視・保守を超える多量・多種類のセンサデータを高度かつリアルタイムで分析するビッグデータ分析と、ソフトウェアでの高度な制御を行うことで、産業機器のダウンタイムの低減による機会損失の極小化のみならず機器の稼働最適化による燃費・電力コスト低減等の経済的な利益を顧客が得られることを前面に訴求している。そして、その対価を GE が直接 Predictivity ソリューションの売上として得ることに加え、GE の既存の CSA の採算性向上を実現することで収益を挙げつつあることは、IoT におけるマネタイズを各社が模索する中、特筆すべき点と言えよう。また、こうした高度なサービス事業を組み合わせることで、産業機器分野での自社の製品の差別化を図り、他社比優位性を高めたいこうとする取り組みと見ることができる。

また、GE は Industrial Internet の実現に向けて不足するケイパビリティについて、ソフトウェア技術者、専門職の大量採用や IT 企業の元幹部の招聘等、IT 人材の高度化を着

実に進めたほか、ビッグデータ分析の基盤となる IoT プラットフォーム「Predix」やアプリケーション「Predictivity」の開発においては、IT 企業との共同開発等により実現した。今後、Predix を広く外部企業に提供していく方向であり、産業機器における IoT プラットフォームの覇権を狙った取り組みと考えられる。

なお、Industrial Internet の高い知名度は、ビジョンと世の中にもたらしうる経済効果のイメージをグローバルに示すだけでなく、自社サービス事業を高度化する形でビジネスとして着実に具体化し、その取り組みを世に発信し続けたことでもたらされたものと考えられる。顧客やパートナー企業とビジョンを共有し、啓蒙することで、新たな市場創出を図るという観点で巧みなマーケティング戦略であり、高い実行力があると言えよう。

3. IoT の普及・進展にあたっての課題・論点

3.1 IoT の普及に向けた課題・論点

1.2 節のとおり、センサ、ネットワーク、コンピューティングの 3 つのイノベーションにより、IoT を“構想”から“実現”に変えうる、ベースとなる要素技術が整ってきたと言える。しかしながら、今後 IoT が更に“普及”に向かうには、(1) 技術 (2) 制度において課題が残っていると考え (図 3-1)。

項目		課題
技術	人工知能 (AI)	✓ 画像・動画・音声データ等の非構造化データの解析技術の向上 ✓ ディープラーニング、量子コンピュータ、脳型AI等によるAIの技術革新
	セキュリティ	✓ 家電、ウェアラブルデバイス、自動車、産業機器、制御システム等に対するサイバー攻撃(データ詐取・改ざん・破壊、システムの乗っ取り等)の脅威への対応
	電源・省エネ	✓ 環境発電(エネルギーハーベスティング)、非接触給電における技術革新 ✓ 省エネ性能(MPU/MCU、センサ、通信プロトコル等)の更なる向上
制度	プライバシー・データ所有権	✓ 医療関連情報(バイタルデータ、健診データ、検査データ、レセプトデータ等)の活用 ✓ ウェアラブルデバイスによる撮影、ネットワークカメラのマーケティング活用
	規制	✓ 安全・人命に関わる各種製品・機器における許認可、法規制への対応 (例)自動運転、ドローン(無人航空機)、ウェアラブルデバイス等
	標準化	✓ IoT機器、IoTプラットフォーム間の接続仕様の標準化をめぐる関係者間の調整

図 3-1 IoT の普及に向けた課題・障壁

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

(1) 技術

人工知能（AI）

IoT デバイスから収集した膨大で複雑なデータを高度かつリアルタイムで分析し、付加価値を創出するためには、データの処理・分析技術の向上および人工知能（AI）の技術革新が求められる。例として、画像センサによる自動車車両制御の高度化（運転支援・自動運転）を実現するためには、動画画像の解析・認識技術の向上が不可欠であり、IoT デバイス化した自動車と人とのインタフェースとしての音声認識の性能向上も求められる。この解析・認識技術の性能向上の鍵となるのは AI の技術革新である。

近年の第3次 AI ブームとも言われる AI への注目の高まりは、人間の神経回路網を人工的に再現したニューラルネットを深層化するとともに、人間の思考、認識メカニズムに基づく、高度なアルゴリズムが実装された機械学習手法「ディープラーニング」が登場したことが背景にある。従来の機械学習手法と異なり、人手を介さずにデータから特徴量を自動的に抽出できる点が最大の特徴である。特徴量とは、機械学習における入力データの変数を意味し、例として、画像認識では、画像を分析する際に抽出する特徴的な量のことである。従来の機械学習では、人間が経験と勘により、変数を選択していたが、ディープラーニングでは、AI が大量データから特徴量を自動で抽出可能であり、言わばビッグデータを教材として自ら学習する AI と言える。人知の介在が困難な膨大かつ複雑なデータからも AI 自らが学習し、“価値”を創出できるようになれば、IoT の可能性も飛躍的に広がろう。

かかる状況下、欧米において、AI および関連する脳科学の研究に多くのヒト、カネが投じられ、個別企業では、IBM、Microsoft、Google などの IT 業界の巨人が AI の技術開発を競い合い、熾烈な人材獲得合戦も繰り広げられている。日本においても、2015 年 5 月に産業技術総合研究所に人工知能研究センターが設立され、産学官連携による取り組みが進められようとしているが、積極的な開発投資や企業買収等で先行する米国有力企業等の背中に追い付き、追い越して行けるのか、今後の取り組みの進展が求められよう。なお、AI について、詳細は第2部 4.2 節「注目される人工知能」を参照されたい。

セキュリティ

コンピュータウイルスなど、サイバーセキュリティの領域では、パソコン、スマートフォン、WEB サイト等をターゲットとして、攻撃側、防御側のいたちごっこが繰り返されている。今後、IoT の進展により、これまでインターネットに接続されていなかったあらゆるモノが新たにサイバー攻撃（データの詐取・改ざん・破壊、システムの乗っ取り等）の危機に晒される可能性があるが、重大なセキュリティリスクを抱えたままでは、IoT が普及に向かうとは考え難い。例えば、冷蔵庫、洗濯機等の家電では、悪意のある第三者によるサイバー攻撃にあった場合、誤作動や稼働データの漏洩等が想定される。また、自動車、バス等の輸送機器の自動運転等を想定した近未来の都市交通システ

ムでは、サイバー攻撃による誤作動、乗っ取り等が発生した場合、搭乗者や周囲の人々の生命の危険に繋がるような甚大な被害を引き起こす可能性も想定されることから、最高度のセキュリティ対策が求められよう。セキュリティは IoT の普及に向けた最大の障壁の一つであり、IoT 時代に即したセキュリティ対策の進展が求められる。

なお、セキュリティについて、詳細は第 2 部 5 節「IoT 時代のセキュリティ」を参照されたい。

電源・省エネ

センサデータの収集、通信機能等が搭載された IoT デバイスを定常的に稼働させるための電源供給も重要な技術的課題である。家電、自動車、産業機器などの比較的安定した電源供給が受けられるデバイスでは特段問題にならないものの、ウェアラブルデバイス等の持ち運び型の小型のデバイスにおいては、高機能化故の電力消費量の増大に伴い、搭載が必要なバッテリー容量が増大し、その結果、デバイス全体の重量が増すことで携帯性が悪くなるというジレンマがある。また、道路・トンネル・水道等のインフラ設備のモニタリングのためのセンサデバイスでは、新たに安定的な電源供給を受けるための電源工事を行うことは困難であり、電源供給手段として電池の使用が想定されるが、定期的な電池交換に要する作業コストを削減するため、長期間の安定した電源供給が求められる。

かかる状況下、IoT における電源供給に関わる技術の中で、環境発電（エネルギーハーベスティング）と言われる技術や非接触給電が注目されており、今後の技術革新が期待される領域である。環境発電とは、光、熱、振動、圧力等の物理的エネルギーを電力に変換する技術であり、身近で実用化されている例では、太陽光発電における太陽電池、ライターの点火装置で使用する圧電素子などが挙げられる。非接触給電は、距離が離れた対象物への給電が可能な技術であり、主に電磁誘導方式、磁気共鳴方式、電波方式の 3 つの方式があるが、出力ワット数、伝送距離、変換効率等により特性が異なる。既に Qi（チー）という非接触給電の国際標準規格では実用化が進められており、身近なものでは、電動歯ブラシ、シェーバー、コードレス電話、スマートフォン等の充電に使用されている。しかしながら、Qi の伝送距離は 5mm 程度と密着した状態での使用が必要となり、利用可能な場面には制約があることから、より伝送距離の長い給電方式の実用化が求められる。また、電力供給と対極にある電力消費側の性能向上も重要であり、センサ、MCU/MPU、通信モジュール（通信プロトコル含む）等、IoT デバイスを構成する様々な電子部品・モジュールにおいて省電力性能の向上が求められる。

(2) 制度

プライバシー・データ所有権

IoT の付加価値の源泉たる“データ”の収集・活用にあたっては、プライバシーやデータの所有権が課題となるケースがある。例えば、第1節で述べたような予防医療の実現にあたっては、個人のバイタルデータ、遺伝子データ、診療データ、レセプトデータ等のセンシティブな医療関連情報の取り扱いが必要となる。医療関連情報の1次取得・利用にあたり、対象者本人からの同意取得は当然ながら、本人の同意のない、あるいは本人の意図しない形でのデータの2次利用、3次利用は厳格に制限しなければならない。

なお、IoT 時代におけるビッグデータの利活用の進展を見据えた制度・ルールの整備が求められる中、10年ぶりに個人情報保護法が改正される見通しとなっている（2015年7月現在）。今般の法改正により、本人の匿名性が担保されるように加工されたデータ（匿名加工情報）の2次利用、3次利用が可能となる見込みであり、ビッグデータの利活用の進展が期待される。他方、匿名加工情報の作成方法は、新設される第三者機関（個人情報保護委員会）が、その基準を定めることとされているが、ビッグデータの利活用を阻害することのないよう迅速かつ実効性のあるルールメイクと運用が求められよう。

規制

自動車等の輸送機器、医療機器に分類されるウェアラブルデバイス、昨今話題のドローン（無人航空機）など、安全・安心、人命等に関わる領域でのIoTのビジネス化にあたっては、国による許認可や法規制の議論は避けられない。不測の事態が発生した場合の影響度合いを考慮した慎重な議論が必要である一方、過度な規制によりイノベーションの停滞を引き起こすようなことがあれば、欧米諸国に対する日本の産業競争力の相対的低下にもつながりかねない。大局的な視座で検討が進むことが期待される。

また、セキュリティ対策については、「セキュリティリスクは100%排除できない」という指摘もある中、技術的な対策を追求する一方、慎重な検討・議論を行ったうえで、合理的かつ大局的な判断も必要となるのではないか。例えば、自動車交通事故は、運転者による安全不確認、速度違反等の人為的な問題により引き起こされるケースが大宗であることから、自動運転化による運転手の人為的な問題行動の排除により、自動車交通事故の大幅な減少が期待される。無論、自動運転化による利便性向上や渋滞解消等による経済的効果と引き換えに事故リスクが増加することはあってはならない。しかしながら、2重・3重の強固なセキュリティ対策の結果として、仮にセキュリティリスクの100%排除が不可能であったとしても、万一のリスク事象も考慮したうえで、現在の交通事故件数を大幅に減少しうるような効果が示せるのであれば、“自動運転化を推進する意義あり”とする大局的判断もありうるのではないか。政府によるイニシアチブ、業界内のコンセンサスの形成が求められる。

標準化

あらゆるパソコン、スマートフォンからインターネットに接続し、WEB サイトの閲覧や電子メールの送受信を行うことができるのは、HTTP、POP、SMTP などのデファクトスタンダードといえる通信プロトコルが夫々存在するからである。IoT の世界において、異なる機器やプラットフォーム間でデータ送受信を行うためには接続仕様の標準化、デファクト化が必要であり、既に IoT 関連のコンソーシアム、標準化団体が多数立ち上がっている（図 3-3）。産業分野では、GE を核とし、IoT の普及を目的に設立されたコンソーシアム「Industrial Internet Consortium」が 150 社以上もの強大な勢力となっている一方、スマートホーム分野では、複数のコンソーシアム・標準化団体が乱立しており、今後の競争の様相は不透明と言える。

標準化の動向は、IoT に関連する企業に広く効率化等の恩恵をもたらす枠組みなのか、一定の排他性を伴い、一部のデファクトを握った企業に付加価値を集中させるものなのか、動向を見極めつつ、取り残されることのないように、積極的な関与が必要と考える。

	Industrial Internet Consortium	AllSeen Alliance	Open Interconnect Consortium	Thread Group
発足時期	2014 年 3 月	2013 年 12 月	2014 年 7 月	2014 年 7 月
概要	✓ GE、AT&T、Cisco、IBM、Intel の米国企業 5 社が創設したコンソーシアム ✓ Industrial Internet として IoT や機器のインテリジェント化、それらを使ったプロセスのイノベーションを推進することを目的に掲げる	✓ Qualcomm が開発した IoT 向けの共通言語／フレームワークである「AllJoyn」をベースに、Linux Foundation がホストを務めるオープンソースのプロジェクト ✓ AllJoyn は、ネットワークや OS を問わずデバイス間でのセキュアな通信を実現するために開発されたプロトコル	✓ 様々な産業分野において幅広い応用が可能な標準通信フレームワークを定義し、250 億個の次世代スマートデバイスの接続を促進 ✓ IoT 機器の相互運用性の促進のため、標準規格（接続フレームワークの仕様、認証、ブランディング）を定義し、規格のオープンソース実装を提供	✓ 家庭の周辺機器のセキュリティと相互運用の為にホームオートメーション向けネットワークプロトコル「Thread*」の普及を目指す *IEEE 802.15.4 や IPv6 通信規格「6LoWPAN」などをベースにしたネットワークプロトコル
主な適用分野	産業分野 （エネルギー、医療、製造、運輸）	スマートホーム	スマートホーム	スマートホーム
主要参加企業	GE、AT&T、Cisco Systems、Intel、IBM（以上、創設メンバー） 富士電機、富士フィルム、富士通、日立、三菱電機、NEC、トヨタ、東芝 全 150 社以上	Qualcomm、Haier、LG Electronics、Panasonic、Sharp、Silicon Image、TP-LINK	Intel、Atmel、Broadcom、Dell、Samsung Electronics、Wind River	Nest Labs (Google)、ARM、Big Ass Fans、Freescale Semiconductor、Samsung Electronics、Silicon Labs、Yale Security

図 3-2 IoT 関連の主なコンソーシアム・標準化団体

（出所）みずほ銀行産業調査部作成

3.2 個別企業の取り組みにおける課題・論点

(1) ビジネスモデルの変革への対応

IoT の進展により、従来のビジネスモデルの枠組みを超えた非連続な変革がもたらされるとの認識のもと、次に挙げるような IoT 時代におけるビジネスモデルの変革への対応が必要と考える。

ハード・ソフト・サービスを融合した顧客価値の創造

あらゆるモノがインターネットに繋がる IoT の世界では、2.2 節の GE の取り組みで述べたとおり、ソフトウェア・サービスのもたらす付加価値を認識のうえ、ハードウェア単体の機器売りからソフトウェア・サービスを融合した新たな顧客価値の創造へと、ビジネスモデルの転換を図っていく必要がある。

担い手の変化（異業種参入）

ハードとソフト・サービスが融合する中で、その顧客に対するサプライヤーは必ずしも既存のハードの担い手とは限らない。むしろ、ソフト・サービスの担い手がハードの提供を行おうとする“異業種参入”も考え得る。例えば、自動運転では、Google が自らの持つ地図情報、画像認識技術、ソフトウェア技術等を武器に、自動運転車を開発・販売することや、自動運転車向けの OS を自動車メーカーに提供するといった、過去にスマートフォンで成功を遂げた戦略をとることが想定される。

他方、こうした変化と表裏をなして、IoT の受益者（典型的にはユーザー）側の、当該製品への期待値、価値の所在も変化する可能性がある。Google が目指す自動運転車を例にとれば、その期待は、運転する対象としてではなく、移動手段としてのものになるであろう。そして、形状・質感や材質をはじめハード（車体）よりも、狭い道でも安全に速く走り抜ける為の走行ソフトやセンサの性能の方に価値が見出されるかもしれない。その結果、異業種、新規の参入者の新たな価値創造により、既存の価値観が打破されるような事態が自動車分野においても起こる可能性がある。

大量生産からマスカスタマイゼーションへ

Industrie 4.0 に代表される IoT による高度な生産システムの構築により、大量生産を前提としたマスマーケティングから、大量生産並みの低コストでカスタムメイド、オーダーメイドを実現する“マスカスタマイゼーション”を前提とした One to One マーケティングへと、企業の製品開発・製造・販売プロセスの変革がもたらされることが想定される。

One to One マーケティングの実現にあたっては顧客ニーズの把握が重要となるが、顧客との直接の接点を持たないメーカーや、店舗を中心とした従来型の小売業態においては、製品の利用動向把握のためのデータ収集・分析や、オンラインチャネルを活用した

ビジネスモデルの変革等に取り組む必要性に迫られるだろう。

他方、顧客との直接の接点を持ち、顧客の趣味嗜好を押さえている Amazon や Alibaba 等の巨大な EC 事業者の存在感が更に増してくる可能性が想定される中、顧客との接点およびニーズ収集等を EC 事業者が担い、高度な生産システムによる低コストでのカスタムメイドをメーカーが担うような協業モデルも想定される。

新規ビジネスモデルの創出

IoT による生産性向上、製品の付加価値向上などの既存のビジネスモデルの延長上の効用だけでなく、昨今注目が集まるシェアリングエコノミーに代表されるような新たなビジネスモデルの創出も重要である。

(2) IoT のもたらす付加価値を巡る争い

(1) で見てきたようなビジネスモデル変革への対応は、IoT のもたらす付加価値を巡る争いでもある。1.3 節にて示したとおり、IoT のエコシステムにおいて、ハードウェア、通信・ネットワーク、プラットフォーム／アプリケーションの各レイヤーに様々な企業が存在するが、各レイヤーに属する代表的なグローバル企業について、IoT への取り組み状況を見ると、自社の従来のコア事業領域に加え、上位のプラットフォームレイヤーを垂直統合的に提供している事例が多数見受けられる（図 3-5）。ハードウェア、通信・ネットワークレイヤーに属する“非 IT 企業”が IoT プラットフォームに取り組む目的として、自社製品・サービス導入企業への垂直統合型ソリューションの提供によるワンストップサービスの提供が第一の目的だろう。そして、その真の狙いは、IoT の付加価値の源泉たる“データ”が集まる領域を押さえ、ビッグデータ分析等により価値を創出し、IoT のもたらす付加価値を自らが得る戦略と考える。更には、スマートフォンのエコシステムにおける Apple、Google のような強大なプラットフォーマーの存在を踏まえると、新たな IoT のエコシステムにおいて、従属的な立場になる可能性を回避する意図もあるのではないか。このように、IoT の付加価値領域としての IoT プラットフォームの覇権を巡る争いが繰り広げられている中、勝者の行く末は不透明であるものの、例として挙げた産業機器の領域では、GE が一歩先行している印象を受ける。

なお、Google は逆に上位から下位レイヤーへと、IoT デバイス、通信・ネットワークレイヤーの事業強化に取り組んでいるが、IoT デバイスは、ユーザーからのデータ収集の起点かつ広告表示のディスプレイとしての位置付けであり、通信・ネットワークはインターネットを利用可能な環境整備の意味合いがあるものと想定され、最終的な目的は広告事業の拡大を狙ったものと考えられる。

		ハードウェア						通信・ネットワーク		プラットフォーム／アプリケーション					
		GE	Apple	Digi International	Gemalto	Freescall	Intel	Cisco	Vodafone	Jasper Wireless	Axeda	Google	SAP	Microsoft	IBM
アプリケーション															
IoTプラットフォーム	サービスプラットフォーム					APIを提供	APIを提供								
	コネクティビティプラットフォーム														
通信・ネットワーク	サービス														
	インフラ機器														
IoTゲートウェイ						リファレンスモデルを提供	リファレンスモデルを提供								
IoTデバイス	OS・組み込みソフト														
	製品・機器														
	MCU/MPU														
	SIM														
	通信モジュール														
	センサ														

従来からのコア事業領域
新たな戦略的事業領域

図 3-3 IoT 関連主要プレイヤーの事業領域

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

4. 日本企業における IoT の取り組みの方向性

4.1 日本企業の IoT への取り組み状況

日本企業の足許の IoT への取り組み状況について、ガートナー ジャパン株式会社が 2015 年 3 月に日本企業へ実施した調査 (図 4-1) によれば、「IoT が自社の製品やサービスそのものを変える (3 年以内)」との認識を持つ企業は過半数を占めており、IoT が自社にもたらす影響を認識している企業が相応に多いことが見受けられる。他方、IoT の推進体制については、「IoT の専門部署やグループができた」とする企業は 8.5%に留まっており、2014 年 10 月のグローバルでの同様の調査結果 (約 2 割が該当) と比較すると、日本企業の IoT の推進体制の構築に出遅れ感があると言わざるを得ず、今後、早急な体制整備が求められよう。

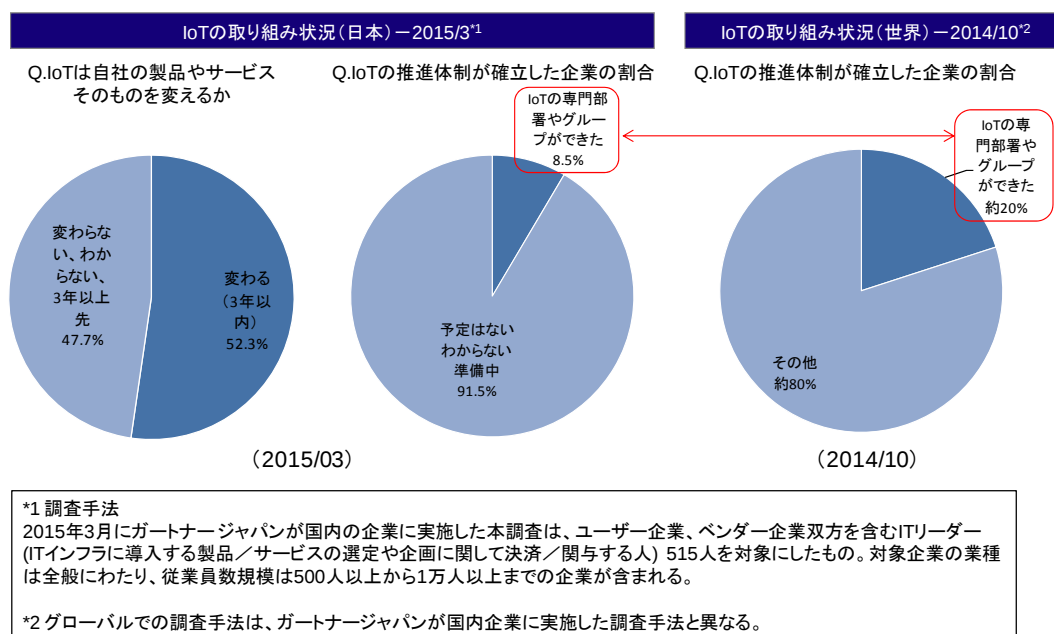


図 4-1 IoT の取り組み状況

(出所) ガートナー プレスリリース 「ガートナー、日本におけるモノのインターネット (IoT) に関する調査結果を発表」、2015 年 5 月 11 日

<http://www.gartner.co.jp/press/html/pr20150511-01.html>

図はガートナー・リサーチ(プレスリリースの内容)に基づきみずほ銀行産業調査部作成

4.2 日本政府の IoT 政策

(1) 産業構造審議会における検討状況

GE を中心とした Industrial Internet、ドイツの Industrie 4.0 等、世界的な IoT の潮流を踏まえ、日本政府として日本における IoT への取り組みの方向性を検討すべく、産業構造審議会商務流通情報分科会にて検討が開始⁴³されている。2015 年 4 月の中間取りまとめ案「CPS によるデータ駆動型社会の到来を見据えた変革」では、「CPS によるデータ駆動型社会を我が国が世界に先駆けて実現することが、新たな情報革命によって激化する国際競争において我が国経済が競争力を保っていく上で重要である」との認識が示された(図 4-2)。また、構想実現のための制度整備、ベンチャーや大企業等の様々なプレイヤーが連携した推進体制の整備、幅広い分野において新しいビジネスモデルにつながるユースケースの創出、新たなビジネスモデルを支えるコアテクノロジーの研究開発や、セキュリティ対策、人材育成の強化といった主要な施策の方向性も示されている。

⁴³ 2014 年 12 月 第 1 回会合開催

社会全体がCPSにより変革される「データ駆動型社会」

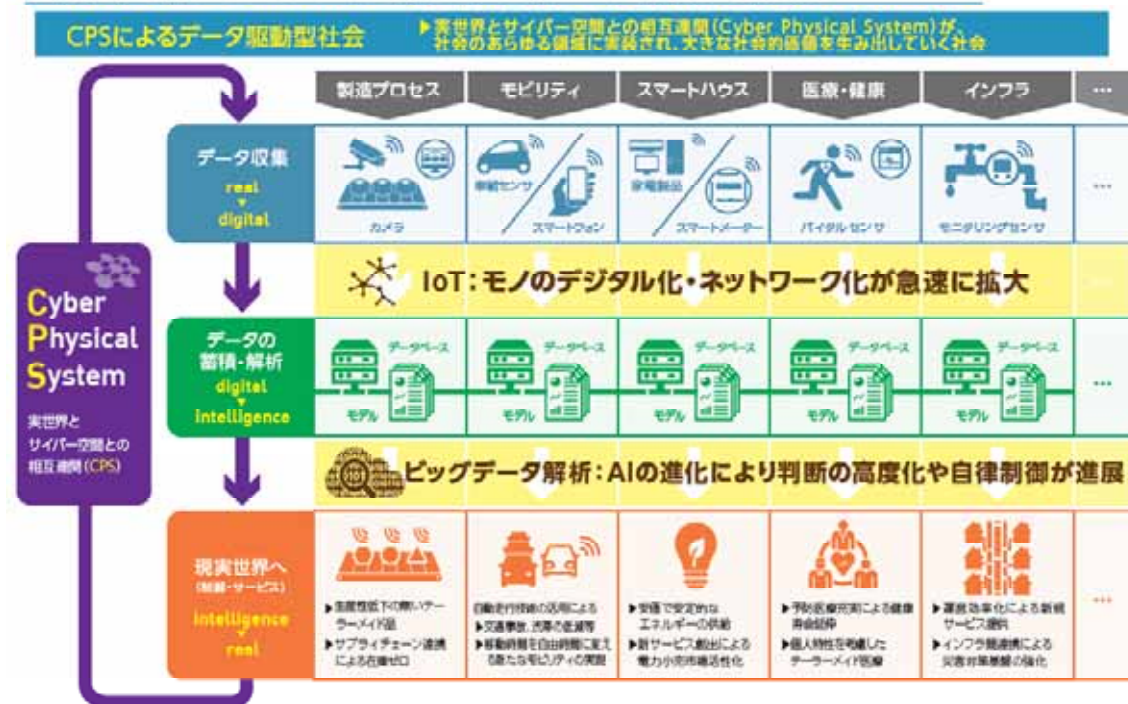


図 4-2 CPS によるデータ駆動社会の概念図

(出所) 経済産業省ホームページ⁴⁴

(2) 「『日本再興戦略』改訂 2015」における IoT の位置付け・具体的施策

2015 年 6 月 30 日に閣議決定された「『日本再興戦略』改訂 2015」では、上記の産業構造審議会における検討内容等を踏まえ、鍵となる施策の一つとして、「IoT・ビッグデータ・人工知能等による産業構造・就業構造の変革の検討」が掲げられた。ここに至る環境認識として、以下に示す強い危機感が挙げられている。

- ・ ビジネスや社会の在り方そのものを根底から揺るがす、「第四次産業革命」とも呼ぶべき大変革が着実に進みつつある
- ・ 世界のデータは 2 年ごとに倍増し、人工知能が非連続な進化を遂げる中、今後数年間で社会の様相が激変したとしても不思議はない
- ・ こうした事態に手をこまねいていたのでは、これまで国際競争を戦ってきた企業や産業が短期間のうちに競争力を失う事態や、高い付加価値を生んできた熟練人材の知識・技能があつという間に陳腐化する事態が現実のものとなるおそれすらある
- ・ IoT・ビッグデータ・人工知能による変革は、従来にないスピードとインパクトで進むものと予想されるが、やや出遅れがちな我が国に試行錯誤をする余裕はない

⁴⁴ http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shojo/johokeizai/report_001.html

その上で、民間企業に対して、「スピード感ある大胆な挑戦にふみきるかどうかが勝敗を分ける鍵となる」とのメッセージを示すとともに、「産学官の幅広い関係者が連携を進めつつ、足下で既に動きつつある新たなビジネスモデル等への対応を進め、IT を活用した産業競争力の強化に取り組むとともに、人材育成やセキュリティ対策などの喫緊の課題に取り組む必要がある」との認識が示された。具体的な施策項目とその概要を図 4-3 に示す。

項目	施策概要
IT を活用した産業の競争力の強化	✓ 産学官連携による推進体制の構築（「CPS 推進協議会（仮称）」の創設） ✓ 足下で動きつつある新たなビジネスとその対応
人材の確保・育成	✓ IT 分野における外国人材の活躍促進 ✓ 若年層に対するプログラミング教育の推進
サイバーセキュリティの確保に向けた基盤強化	✓ 技術力の強化・産業育成 ✓ 人材育成
未来社会を見据えた共通基盤技術の強化	✓ 新たな時代を支える共通基盤技術（IoT、ビッグデータ解析、人工知能、センサー、素材、ナノテク等）の検討および研究開発の実施 ✓ 世界最先端の技術・知見を集積するためのコアテクノロジーの確立及び社会実装の推進（人工知能、情報処理、高性能デバイス、ネットワーク技術、電波利用技術等） ✓ IoT・ビッグデータ・人工知能に関する次世代プラットフォームの整備に必要な研究開発や制度整備改革 ✓ 新たなビッグデータ利活用と高精度・高速シミュレーションを実現する最先端スーパーコンピュータの利用に係る研究開発と産業利用の促進
産業構造・就業構造の変革への遅滞ない対応	✓ IoT・ビッグデータ・人工知能のもたらす影響と対応に係る時間軸を含めた検討の実施 ・ 産業構造、就業構造、経済社会システムの変革の時期・内容 ・ 企業におけるビジネスチャンス ・ 政府や民間企業で進めておくべき対応（規制制度改革、研究開発・人材投資等）

図 4-3 IoT・ビッグデータ・人工知能等による産業構造・就業構造の変革への対応に係る施策

（出所）『『日本再興戦略』改訂 2015』資料を基にみずほ銀行産業調査部作成

上記施策のうち、「IT を活用した産業競争力強化」については、国内外のビジネスモデル・技術革新を踏まえた対応の方向性と具体的な課題解決を産業横断的に進めるため、ベンチャーや大企業等を含む産学官連携による推進体制として CPS 推進協議会（仮称）が年内に創設される予定である。同協議会では、ビッグデータを活用した新たなビジネスモデルの創出等に向け、企業間データ連携・共有を促進するための標準契約モデルを本年度内に策定するほか、ビッグデータを活用したビジネスモデルに関わる国際標準化を進める予定である。加えて、大企業とベンチャー企業のマッチングを行うとともに、データを核とした国内外のビジネスモデルの変革に関する最新状況の調査分析等に関わる中核的機能（日本版 ACATECH⁴⁵（仮称））の確立等を推進するとしている。また、「未

⁴⁵ IT を含めた様々な技術革新の産業への導入を進めるために、民間で進めるべき取り組みや政策への提言を行うドイツの専門機関。2008 年よりドイツ政府が積極的に支援している

来社会を見据えた共通基盤技術の強化」については、新たな時代を支える IoT、ビッグデータ、人工知能等の共通基盤技術の研究開発および次世代プラットフォームの整備に必要となる研究開発、制度整備改革等を行うとしている。

(3) 政策への期待・今後の方向性

上記のとおり、日本政府として、「IoT が産業構造・ビジネスモデルの変革をもたらす」との認識を示したうえ、成長戦略の重要施策の一つとして IoT への取り組みを掲げたことについて、まずはスタートラインに着いたという評価ができよう。また、図 4-3 に挙げた具体的施策についても、ビッグデータを活用したビジネスモデル創出のためのベンチャー・大企業を含む産学官連携による推進体制の確立や人材の確保・育成、共通基盤となる IoT・ビッグデータ・AI に係る技術開発、必要となる制度整備等の施策が挙げられており、日本の産業競争力の強化に向けた支援施策として今後の取り組みの進展が期待される。

他方、世界に目を向けると、GE、Cisco Systems 等の強固な事業基盤を持つ大手グローバル企業が、IoT に関する先進的なビジョンを早期かつ大々的にグローバルレベルで情報発信し、自社の付加価値の極大化を目したエコシステムの形成を強力に推し進めようとしている。また、Uber や AirBnB のように、新たなビジネスモデルを創出し、その企業価値が既に数兆円とも目されるようなベンチャー企業が米国で次々と立ち上がっていることに加え、今後の基盤的かつ重要な技術である AI の領域では、IBM、Microsoft、Google 等の IT 業界の巨人が多額の資金、優秀な人材を多数投入し、AI の覇権を巡る争いが繰り広げられている。斯かる状況を踏まえると(2)に挙げたような“やや出遅れがちな我が国”との政府の足許の現状認識がはたして適正か、議論の余地があろう。具体策の実行と取り組みのスピードアップが求められる。

また、IoT の時代において、日本の産業界が後追いあるいは従属的なポジションに留まることなく、欧米の大手グローバル企業に伍していくには、目指すべき期待水準として、“世界に対抗しリードしていく”といった高い次元のチャレンジングな目線を持つべきであり、ドイツが Industrie 4.0 にて、「2025 年までに米国、中国を抜いて輸出世界第 1 位になる」との明確な目標を掲げているように、成果目標（KPI）として「世界第 1 位」を掲げるといった「攻めの姿勢」が必要ではないか。我が国産業界が世界を相手に対抗していくべく、産業横断的なリーダーシップの発揮、資金面での競争優位な支援施策、制度・規制面での迅速な整備等、政府に期待される役割は非常に大きいと考える。

4.3 日本企業の取り組みの方向性

前節のとおり、政府に期待される役割は大きいものの、国の政策が GE、Apple、Google のような強大な企業を育成するわけではない。各企業においては、最後には“個”の勝負となることを改めて認識し、政府や業界団体等での検討と並行して、“個”としての戦略を描いていかねばならない。これまで述べてきたように、IoT がもたらしうる多大なる経済価値に鑑み、業界・企業によりその深淺、時間軸は異なるであろうが、今後あらゆる企業が自社の戦略に IoT を取り込むことが求められるものと考ええる。斯かる認識のもと、日本企業各社の IoT への取り組みの方向性について、2.2 節「Industrial Internet」にて考察した項目であり、多くの企業に共通して考慮が必要と考える次の 5 つの共通項目（図 4-4）、すなわち①顧客価値創造、②課金モデル・マネタイズ、③ケイパビリティの獲得、④プラットフォーム戦略、⑤ビジョンに沿って考察する。また、個別に考慮が必要な事項について、IoT のエコシステムにおける①サプライヤー、②メーカー、③ユーザーの 3 つの視点に分け捕足する。

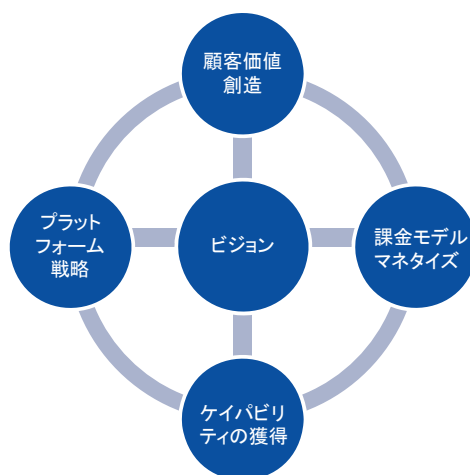


図 4-4 IoT への取り組みの方向性に関わる 5 つの共通項目

（出所）みずほ銀行産業調査部作成

(1) 各企業における共通の検討事項

顧客価値創造

自社の既存事業領域において、自社製品・サービスをインターネットに繋ぎ、高度なデータ分析等を行うことで、顧客のコスト削減や売上増を実現するなど、新たな顧客価値を創造できる領域がないか、悉皆的に検証する必要がある。すなわち、IoT によって可能となった大量データ・非構造化データ等のビッグデータの収集と分析を行い、顧客ニーズや嗜好を把握したうえ、顧客支持を受ける製品・サービスの開発に繋げることが重要である。他方、顧客企業の業界や個別業務の十分な理解が必要であり、ノウハウ獲

得のための外部からの人材登用等も求められよう。

また、IoT がもたらしうる多大なる可能性に鑑み、既存事業の延長ではなく、新規事業の創出に取り組むことも重要であり、企業内での新事業創造に向けた内部のイノベーション人材の発掘・登用や外部企業からの招聘等による組織化、ベンチャー投資の活用等も検討すべきと考える。

課金モデル・マネタイズ

様々なモノをインターネットに接続することで、遠隔地でのデータ収集やモノの制御等、モノの利便性向上に資するような様々な IoT 活用のアイデアが想定されており、実証実験等も行われているが、実用化にあたってはマネタイズが課題となる。つまり、IoT への対応に伴う研究開発費、通信料等のコストの増加分を上回る対価（コスト削減効果、価格転嫁等）を得られなければならない。この点について、GE の Industrial Internet では、主に故障・停止等による経済的損失が大きく、費用対効果が得られやすい設備・機器（航空機エンジン、ガスタービン、建機等）の予防保全、稼動最適化にフォーカスしているほか、顧客に提供したコスト削減効果等の付加価値額をシェアする成果ベースの課金モデルが収益を挙げつつあり、日本企業においても参考にすべき点と考える。

他方、一般消費者を対象とした B to C 向けの製品・サービスについては、照明、エアコン、ハードディスクレコーダー等の外出先等からの遠隔操作、インターネット上のレシピと調理家電との連動、ヘルスケアデバイスで収集した体温、血圧、活動量等の WEB 上での管理等、“モノ”の利便性を向上させる様々な付加機能が想定されるものの、利用者に提供する利便性に対して直接対価を得る（課金）のは難しいと考えられる。このようなケースでは、利用者と支払者が異なるビジネスモデルの構築が想定される。例えば、今般の個人情報保護法改正案にて取り扱いが明確化される匿名化データの第3者提供や、広告型のビジネスモデルなど、個人から収集する“データ”に価値を見出す企業を含めたビジネスモデルを構築し、当該企業からフィーを得るモデルなどである。他方、マネタイズポイントの異なる異業種からの参入者により、従前の収益モデルを破壊される可能性があることにも留意が必要となる。

ケイパビリティの獲得

IoT の広範なエコシステムの中で、自社の事業領域を見定めること、また、その実現のためのケイパビリティをどのように獲得すべきかは重要なテーマである。IoT の時代では、ハードウェア単体ではなく、ソフトウェア・サービスとの融合によりその付加価値がもたらされることから、従来のものづくり偏重からソフトウェア・サービスの開発体制の強化が求められる。例として GE は、2.1 節で示したように、ソフトウェア技術者、専門職の大量採用、IT 企業の幹部人材の招聘や IT 企業とのプラットフォーム、アプリケーションの共同開発など、必要なケイパビリティを大規模投資により戦略的に獲得し

ている。また、GE は 2014 年 9 月に家電部門を売却することを公表したが、このような成熟・縮小領域（家電）からの脱力と、成長・注力領域（産業機器の IoT 化）への再投資という観点でも日本企業にとって参考になろう。

また、IoT への対応にあたり、全て内製化することは多くの企業では技術面かつ費用対効果の観点で非現実的であり、IT/ソフトウェア企業等のサプライヤーとの協業が必須となる。しかしながら、サプライヤーへの丸投げあるいは提案を丸呑みにするのではなく、自らが主体的にあるべき姿を描き、競争優位性のある製品・サービスを実現することが必要であり、そのためには、高度な IT 人材の確保が課題と考えられる。この点について、一つの例として、ユニクロを運営するファーストリテイリングとアクセンチュアとの協業の事例が参考になるのではないかと。2015 年 6 月、ファーストリテイリングは消費者向けサービスにおけるデジタルイノベーションの実現に向け、将来的には合併会社の設立を視野に、アクセンチュアと共同で取り組みを進めることを公表した。ビッグデータアナリティクス、モバイルアプリケーション、クラウド等の最新テクノロジーに精通した高度 IT 人材の採用・育成の支援等を目的とした協業である（図 4-5）。ファーストリテイリング柳井会長によれば、「アクセンチュアとの協業により、従来の小売業の枠を超えた全く新しい産業の可能性を国内外に示し、世界最高水準のビジネスモデルを構築するとともに、デジタル時代に求められる革新的な消費者体験を実現するための店舗の構築や物流網の整備、イノベーションを創出できる人材の育成に取り組んでいく」としている。日本企業（非 IT 企業）にとって、IoT 時代における高度な IT 人材を確保するため、IT 企業との戦略的なアライアンスが有力な戦略オプションの一つになるものと考えられる。

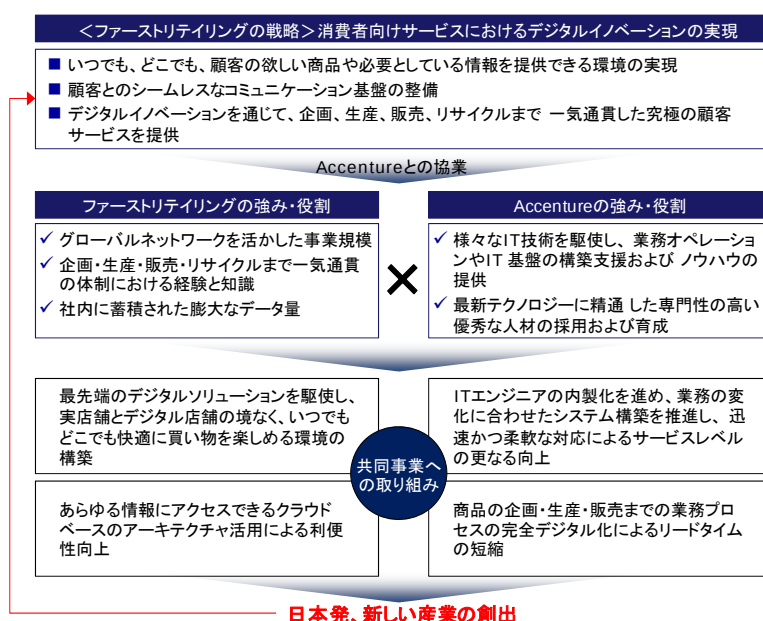


図 4-5 ファーストリテイリングと Accenture との協業について

（出所）ファーストリテイリング公表資料よりみずほ銀行産業調査部作成

プラットフォーム戦略

1.3 (2) ④で示したように、IoT のエコシステムにおいて、プラットフォームレイヤーを垂直統合的に提供する事例が多数見受けられる。これらは、ワンストップサービスの提供による顧客利便性だけでなく、付加価値の源泉たるデータが集まる領域を押さえ、ビッグデータ分析等により価値を創出し、その対価を自らが得る戦略と考えられる。全ての企業に共通する戦略ではないが、自社製品の市場シェアが高く、支配的ポジションにあるケースや、ビッグデータ分析等において自社の業務ノウハウが活かせる場合等、自社の強みによりプラットフォームとしての競争優位性の発揮が期待できる場合、IoT プラットフォーム専門企業の買収や IT・ソフトウェア企業との JV 設立による共同開発の内製化等により、事業機会拡大の観点から、垂直統合型モデルを志向することも有効な選択肢と考える。

ビジョン

GE、Cisco Systems、IBM 等の大手グローバル企業のように、IoT のもたらす変革の波を捉える先見性を持ち、ビジョンを社内だけでなく、顧客やパートナー企業と共有し、啓蒙あるいは共同開発をするなど、自らが狙う新たな市場の創出に向け、顧客やパートナーを巻き込んで行くことが重要と考える。

他方、ビジョンを打ち出し、戦略を実行するタイミングも重要である。1.1 (2) で示したとおり、IoT のコンセプト自体は新しくなく、あらゆるモノがインターネットに繋がる便利な未来の社会像は過去より描かれてきた。しかしながら、新たな市場が立ち上がり普及に向かうためには、そのための必要条件として、技術面、法制度面などの外部環境要因が整うことが前提となり、一見優れたビジョンでも、市場化の時間軸が合わない構想では、絵に描いた餅である。産業毎に異なる市場の立ち上がりのための必要条件を意識し、構想の実現に向けた周到な準備と戦略実行のタイミングを計ることが重要となろう。そのためには、テクノロジー・社会の動きに対する地道な情報収集とその有効活用が必要と考える。

項目	考慮すべき事項	考え方
顧客価値創造	✓ IoTにより新たな顧客価値を創造可能な事業領域、具体的な顧客価値の検討	✓ 自社の事業ポートフォリオの悉皆的検証 ✓ 顧客業務、ニーズ理解、ノウハウ獲得のための外部人材登用
	✓ 新規事業の創出	✓ イノベーション人材の育成・登用 ✓ ベンチャー投資の活用
課金モデル マネタイズ	✓ 研究開発費、通信料等のIoT対応コストを上回る対価を得られるか	✓ 費用対効果が得られやすい事業領域に着目(例:産業機器等) ✓ 顧客に提供する付加価値額のシェア⇒リスクシェアも必要に ✓ 受益者と対価の支払者が異なるマネタイズモデルの構築(家電、ヘルスケア等)
ケイパビリティ の獲得	✓ 自社の事業領域の見極めと、必要なケイパビリティ(人材、技術等)の獲得	✓ ソフトウェア技術者、専門職の育成・採用、マネジメント人材の招聘 ✓ 企業買収による技術の獲得、JV設立による共同開発 ✓ 成熟・縮小領域からの脱力と、成長・注力領域への再投資 ✓ 高度IT人材確保のためのIT・ソフトウェア企業とのアライアンス
プラットフォーム 戦略	✓ IoTプラットフォームを自社で提供するか、他社のものを利用するか	✓ 自社の強み(シェア、ノウハウ等)により、競争優位性を発揮できる場合、企業買収、JV設立等による垂直統合型モデルを志向
ビジョン	✓ IoT時代のビジョンの必要性	✓ 変革の波を捉える先見性と、ビジョンの顧客・パートナーとの共有、啓蒙による新たな市場の創造 ✓ ビジネス化のタイミングは、市場の立ち上がりに必要な必要条件(技術、規制、法整備等)も考慮

図 4-6 IoT への取り組み方向性（共通項目）

（出所）みずほ銀行産業調査部作成

(2) 個別企業における検討事項

前述の①IoT サプライヤー ②IoT メーカー ③IoT ユーザーの定義を図 4-7 のとおり定め、個別に考慮が必要な事項について捕足する。

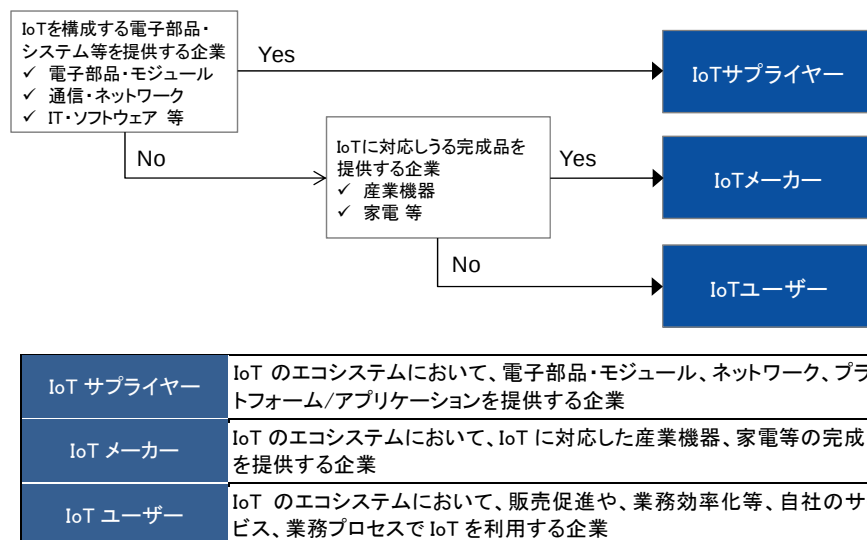


図 4-7 IoT における企業の分類

（出所）みずほ銀行産業調査部作成

IoT サプライヤーの取り組み方向性

IoT サプライヤーの戦略に共通する前提事項として、IoT の進展は、自社が提供する電子部品・モジュール、通信・ネットワーク、SI/ソフトウェア等の提供機会（IoT 市場）が直接的に広がることを意味する。したがって、IoT サプライヤーは成長市場を積極的に取りに行く戦略が求められる。IoT サプライヤーを 1)電子部品・モジュール 2)通信キャリア 3)SI/ソフトウェアの3つに分け、それぞれの戦略方向性を考察する。

1) 電子部品・モジュール

2020 年には 500 億台の“モノ”がインターネットに繋がるとも言われる IoT 時代において、多様な“モノ”に応じた製品開発、性能向上（小型化、省電力化等）、低コスト化等の実現が求められる。また、今後の IoT の成長市場と想定される製造業、医療・ヘルスケア、車載製品等の分野への新たな取り組みや、SIM・通信モジュールベンダーの Gemalto のような IoT プラットフォームの提供による垂直統合型ソリューションの提供等の取り組みも想定される。

2) 通信キャリア

IoT 時代における通信量の拡大にかかわらず、通信キャリアの通信インフラ提供のみでは収益性に限界があると考えられる。Vodafone 等の先行する大手グローバルキャリアの戦略を踏まえると、IoT のエコシステムにおける通信キャリアの事業領域として、M2M 回線の提供だけでなく、通信モジュール、IoT プラットフォーム、アプリケーション等の近接する事業領域を垂直統合的に提供し、自社の事業機会の拡大を図る戦略が想定される。ワンストップサービスの提供により、顧客の IoT の導入障壁の低減による M2M 回線事業の拡大に加え、IoT プラットフォーム、アプリケーション領域での収益機会を狙った戦略である。事業領域の拡大にあたり、不足するケイパビリティの補完の観点では、IT・ソフトウェア企業の買収や JV 設立が有効となろう。また、M2M のグローバル事業拡大の観点より、1.3 (2) ③で述べた通信キャリア間のアライアンスの更なる強化も必要と考える。

3) SI/ソフトウェア

IoT はあらゆる産業において、様々な用途での活用が想定されることから、SI/ソフトウェアベンダーは、産業別の個別のアプリケーション開発や IoT プラットフォーム開発などの役割期待に鑑み、各産業・企業毎に特有の課題に対応するための業務ノウハウやコンサルティング能力の強化、商圏獲得、ソリューションラインアップの拡充等が求められる。そのための手段として、IoT における有望領域と考えられる製造業、医療・ヘルスケア、エネルギー等の各産業分野に強みを持つコンサルティング企業、ソフトウェアベンダーとのアライアンスや買収が有効な選択肢と考える。

また、IoT により興隆するビッグデータ分析やセキュリティに関する事業機会を捕捉するべく、機能・性能向上のための積極的な技術開発や、不足するケイパビリティの獲得のための M&A の活用が想定される。

IoT メーカーの取り組み方向性

完成品メーカー各社は、2.2 節「Industrial Internet」で示したとおり、ハード・ソフト・サービス融合型のビジネスモデルによる新たな顧客価値の創造に取り組む必要がある。GE の Industrial Internet は、GE の産業機器のグローバルなインストールベースを活かした戦略であり、同じ土俵（GE 製品が強い市場）での競争は困難が想定される。予防保全の高度化、オペレーションの最適化に留まらない新たな顧客価値を創出することで対抗していくのか、あるいはむしろ GE のプラットフォームを活用することで自社のビジネス領域の拡大を図っていくのか等、とるべき自社の戦略を定め、必要な手を打つことが急務と言えよう。

他方、日本が世界市場で強みを持つ領域（例えば自動車、ロボット、FA 機器、高品質な家電、複写機等）については、これまで培った実績・基盤、すなわち、製品・機器の性能、品質、販売チャネル、ブランド力等を活かしつつ、競合メーカーからの攻勢や他レイヤーからの新規参入の脅威を座して待つのではなく、IoT に先んじて取り組むことで、競争優位性を発揮していくことができるのではないか。自動車×IoT、ロボット×IoT といった視点からの発想に留まるのではなく、IoT の普及による社会環境の変化による自社の主力製品の位置付けの変化といったことも視野に入れたクリエイティブな顧客価値を提供することで、今後の競争をリードしていくことを期待したい。自動車を例にすると、広範にわたるバリューチェーンや安全、環境、エネルギー面での社会との密接な関係性等、自動車を中心に織りなすエコシステムは裾野が広く、その一部の変容が自動車関連ビジネスのありようを変化させるドライバーとなり得る。これは他レイヤーからの侵食の脅威をもはらむものであるが、現在このエコシステムの頂点に立つ完成車メーカーは、従来築いてきた前述の優位性を活かしてエコシステムの変化を次なるビジネスチャンスに繋げる最も優位なポジションにあるものと考えられる。中長期的なビジョンのもと、自社の事業領域を明確に定めるとともに、不足するケイパビリティについては、オーガニックな体制強化のみならず、積極的なアライアンスの活用も必要と考える。

他方、自社内の製造プロセスの高度化の観点では、Industrie 4.0 に代表される高度な生産システム、バリューチェーンの構築等について、内製に拘らず、FA ベンダー、IT・ソフトウェア企業との協業に加え、バリューチェーンを構成する各社の英知を結集し、次世代のものづくりの在り方、ビジョンを構築していくべきであろう。

IoT ユーザーの取り組み方向性

IoT に関連する部品、製品、サービスの提供等、自社のコア事業に直結する「IoT サプライヤー」および「IoT メーカー」と比較すると、IoT 関連製品・サービスの提供を受ける側である「IoT ユーザー」は、IoT に対して受動的なスタンスを取る企業が相対的に多いかもしれない。しかしながら、IoT の多大なる可能性を認識し、業界内で横並びではなく、主体的かつ革新的な取り組みが必要と考える。IoT を活用した新たなビジネスモデルの創出に取り組むベンチャー企業が米国を中心に次々と立ち上がっている中、IoT を活用して生産性向上を目指すだけでなく、マーケティングの高度化や新規事業の創出等の「攻めの姿勢」が重要ではないか。

4.4 まとめ

前節にて、日本企業の戦略方向性について述べたが、各企業の事業内容、事業規模、業界内ポジション、コアコンピタンス、IoT への取り組み状況等は千差万別であり、一概に論じるのは雑多すぎるかもしれない。しかしながら、多くの企業に共通するメッセージを改めて次に述べ、まとめとしたい。

IoT は事業戦略の実現のための手段であり、イノベーション実現の原動力となる多大なる可能性を秘めている。IoT のビジネスモデルへの有効活用が企業の競争力に直結し、しかもそのマグニチュードは極めて大きなものになるだろう。

今、世の中で何が起きようとしているのか、起きつつあるのか、自社にどう影響するのか、IoT のもたらす大きな変革の波にのまれることなく、その波に乗って大海を航行していくには、競合他社や業界内外の先進的企業の動向等を注視しつつ、舵手たる経営者が明確なビジョンを掲げ、企業としての進むべき大きな方向性を定めねばならない。IoT の概念のもと、自社のコアコンピタンスとケイパビリティを評価し、顧客にどのような新たな付加価値を提供できるのか、自社を中心としたエコシステムを如何に構築するか、そのために不足するケイパビリティとリソースはどのように確保するのかを再認識する必要がある。自社の事業領域を定めただけで、内製に拘らず、オープンイノベーション、アライアンスを積極的に活用すべきである。そのための戦略投資には一定のリスクテイクも必要であり、成熟・縮小事業からの脱力と成長領域への再投資を大胆に実行する決断力も求められる。欧米グローバル企業のように、自社にはない優れた技術、先進的なビジネスモデルをベンチャー投資により積極的に取り入れるといったことも重要と考える。

また、多くの企業にとって、今後の IoT 時代に向けた戦略策定・実行のために死活的に重要なものは、経営者をはじめ、幹部、従業員における“IT への理解”ではないか。舵手たる経営者が企業としての進むべき大きな方向性を定めるには、経営者自身に羅針盤としての“IT への理解”が求められるほか、具体的な戦略立案・実行部門としての企画・IT 部門における IT 人材の高度化も必要条件と言えよう。また、スマートフォンに

より、個人のライフスタイルにインターネットが溶け込んだように、将来的に IoT が一般化し、様々なビジネスを構成する製品・サービスに IoT が融合していく段階では、営業、事務、研究、開発等のあらゆる部門において、ビジネスリテラシーとしての“IT への理解”の向上が必要になるだろう。そのための人材育成・採用、外部人材の登用や、非 IT 系企業においては IT 企業との戦略的アライアンスによる人材確保等、“モノ”、“サービス”に注目が集まる新たなインターネットの時代において、“ヒト”に回帰した取り組みが求められよう。

みずほ銀行産業調査部
電機・IT・通信チーム 大堀 孝裕
takahiro.oohori@mizuho-bk.co.jp

第2部 IoT 活用、IoT を支える基盤の最新動向と展望

最近の IoT の実用化に向けた動向を見ると、IoT 時代の到来は、そう遠くないのかもしれない。しかしながら、モノがインターネットに接続され、製品の付加価値や生産性向上等が実現するという言葉だけで、実際の IoT のイメージやインパクトを理解することは容易ではない。そのため、第2部の前半では、IoT が、実際の社会や生活にどのように取り込まれていくのか、それにより何がどう変わるのかを移動・交通、生活・くらし、産業・ものづくりの視点から具体事例を示した上で、IoT 活用の展望や課題を描いた。

IoT 時代にはモノがインターネットに繋がり、世界中のデジタルデータが爆発的に増大すると見込まれる。データ量の爆発的増加と同時に、データの動的変化、形態や頻度が多様化するため、こうしたデータを処理するための新たな情報処理基盤、そこから付加価値を生み出すための情報分析技術等が必要となる。IoT の拡大に伴い、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。第2部の後半では、IoT を支える基盤として、IoT に対応した情報処理基盤を概観した上で、新たな情報分析技術として注目される人工知能と情報セキュリティに注目し、その動向・トレンドや課題等を示した。

また、IoT を支える基盤として人材という観点も重要である。IoT は全体を総称した非常に幅広い概念であり、IoT を活用するための具体的な技術や、IoT を活用した具体的な製品・サービスは、多くの領域において今後の実現が期待されているが、こうした未知の領域を切り拓く際に中核となるのは人材である。こうした観点から、第6節では、現在、IoT に関連する分野の最先端で活躍する人材に注目し、第一線の人材が描く未来像のほか、今後の IoT 時代に活躍できる人材に求められる能力等を示した。

1. 移動：乗り物が変わる（自動運転）、物流が変わる

1.1 IoT が移動・交通に与える価値

自動車がテレマティクスによってインターネットに常時つながり、インターネット上の情報を活用することのできる自動車は“コネクテッド・カー”と呼ばれている。コネクテッド・カーは、モノのインターネットである IoT 分野において、具体的な IoT 活用が明確化してきているモノとして、その IoT 活用に注目が集まっているところである。実際に、米国・ラスベガスで行われた 2015 International CES では、コンシューマーエレクトロニクスの見本市にも関わらず数多くの自動車メーカーが参加した。BMW やフォルクスワーゲン等の自動車メーカーは、展示場の外にブースを設置し、IoT を活用した自動車の具体的な使い方までパフォーマンスして見せた。このように、IoT によって得られる価値については各分野においては模索している中で非常に具体的な活用方法が出

てきているのが移動・交通分野である。

さて、移動・交通分野において IoT がどのような価値を与えているだろうか。まず、我々が普段利用している乗用車で見てみると、それは数多くの価値を与えているが、特に大きく「インフォテインメント」と「セーフティ（安全技術）」において自動車の価値を高めているのではないかと推察される。

「インフォテインメント」は、Information と Entertainment を組み合わせて作られた造語であり、具体的にはカーナビゲーションや、助手席・後部座席モニタ等に対して、インターネット上の情報を提供・表示することでナビゲーションシステム等の価値を向上させるものである。最近では、車載インフォテインメントプラットフォームとして Apple が「CarPlay」を、Google が「Android Auto」を発表する等、広く消費者に普及した“スマートフォン”との親和性が高いインフォテインメントが提供されようとしている。CarPlay や Android Auto は、パイオニアや KENWOOD、パナソニック等の車載器メーカーが対応機種を発表し、Audi や BMW、Ford 等の様々な自動車への導入が進んでいる。「セーフティ（安全技術）」は、様々な技術が検討されており、その中でもセンサを活用した衝突軽減ブレーキ（プリクラッシュブレーキ）やレーンキーピングアシスト等が注目されている。これらの安全技術は、初めは Mercedes Benz のような高級車に対して導入されたが、現在では日産自動車やトヨタ自動車など全車種に対してプリクラッシュブレーキの搭載を発表する等、拡大しているところである。IoT の観点では、路面上の機器と自動車の機器をつなぎ情報を交換する路車間通信や自動車同士で通信を行う車車間通信等、V2X（Vehicle to X）と呼ばれるシステムの開発が進められている。日本国内においても、内閣府の SIP（戦略的イノベーションプログラム）や国土交通省の ASV（先進安全自動車）等において検討が進められているところである。

次に商用車やトラック、バス等を見てみると、「フリートマネジメント（運行管理）」や様々な移動手段を利用する「モビリティミックス」、「ロジスティクス（物流）」において、業務の見える化や効率化等に対して価値を与えている。

1.2 移動・交通分野における IoT 先進事例

(1) インフォテインメント

インフォテインメントは、先述のとおり「Information」と「Entertainment」を組み合わせた造語である。特に、自動車に搭載されるものは車載インフォテインメント（IVI：In-Vehicle Infotainment）と呼ばれている。IVI は、自動車にインフォメーションとエンターテインメントの機能を幅広く提供するものであり、具体的には、ナビゲーションシステムや位置情報サービス、音声通信、インターネット接続のほか、音楽や動画等のマルチメディア再生、ニュース、電子メールなどへのアクセス検索機能などを指す。

IVI は、上記に記述した具体例のような出力だけではなく、それらに入力するための入力デバイスやインターネットに接続するための通信システム、オーディオ機器等の外

部の電子機器と連動するシステム等の役割も担っている。ここでは、大きく入力デバイス（インプット）と外部との電子機器との連携によって進められている取り組みについて紹介したい。

① 入力デバイス

自動車の入力デバイスとしては、現在のカーナビゲーションで利用されているようなリモコン等のボタンでの入力や画面上のタッチパネルによる入力等が一般的である。ただし、自動車を運転するドライバーが運転中にそれらの操作を行うことは難しく、新しい入力方法が検討されている。ここでは、2種類の入力方法を取り上げる。

1) ジェスチャーコントロール

ジェスチャーコントロールは、ドライバーの手の動作を利用して操作をする機能である。従来は、ボタンやタッチパネル等、ドライバーが直接触れる必要があったが、ジェスチャーコントロールでは、それがなくなることが特徴的な入力方法である。2015 International CES において、フォルクスワーゲンは、手によるジェスチャーコントロール機能を搭載した「ゴルフ R タッチ」を出展した。例えば、サンルーフの開閉やシートの調整、音楽や動画等のマルチメディアの動作等をハンドジェスチャーによって操作する機能を有する。また、BMW は、同様に手によるジェスチャーコントロール認識に対応したインフォテインメントシステム iDrive を出展した（図 1-1）。



図 1-1 自動車メーカーによるインフォテインメントの導入例
（左図：フォルクスワーゲン ゴルフ R タッチ、右図：BMW iDrive）

（出所）2015 International CES にてみずほ情報総研撮影

2) ウェアラブル端末の利用

ウェアラブル端末とは、身に付けられることのできる電子デバイスのことを広義に指し、ヘルスケア分野等を中心に開発が進められている。例えば、スマートウォッチと呼ばれるウェアラブル端末は、腕時計の形態でのスマートフォンのような直感的な操作を

行うことができ、音声入力やタッチパネルによる遠隔操作のための端末として利用される例が見られる。2015 International CES では、ヒュンダイがスマートウォッチを通じて鍵の開け閉めや停車位置を探すシステムを公開した。このシステムは、Google のスマートウォッチ向けプラットフォームである Android Wear 上で提供される。また、BMW は、サムスンの Galaxy Wear を利用して自動駐車を行うシステムを公開した（図 1-2）。

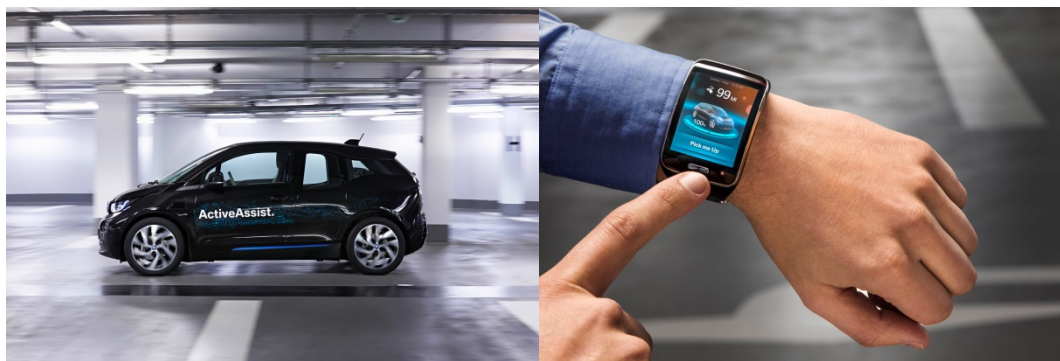


図 1-2 BMW によるウェアラブル端末を活用した自動駐車システム

（出所）BMW ホームページ

② インフォテインメントプラットフォーム

クルマに搭載されているカーナビゲーション・システムや音楽・動画等のマルチメディア再生等は車載インフォテインメントと呼ばれている。これまでの車載インフォテインメントは、自動車に組み込まれた車載 OS が使用されており、その開発は自動車メーカーやカーナビメーカー等の機器メーカーの主導により進められていた。しかし、2014 年 3 月に Apple から「CarPlay」、同年 6 月に Google から「Android Auto」（図 1-3）と呼ばれる IT 企業による車載 OS が発表されたことを機に、スマートフォン及び、スマートウォッチ等の他機器との連携を深めたインフォテインメントに注目が集まっている。

2015 International CES においては、パイオニアや JVC ケンウッド等の機器メーカーや自動車メーカーである Audi やフォルクスワーゲン、ダイムラー、Ford のほか、ドローンの開発で知名度を高めているパロット等が「CarPlay」や「Android Auto」に対応した機器又は、機器を搭載したクルマを発表した。



図 1-3 「Android Auto」、「CarPlay」

(出所) 2015 International CES にてみずほ情報総研撮影

(2) セーフティ

自動車の予防安全技術（セーフティ）の分野では、物理的な安全技術である衝突耐久性等が日本の強みとして開発が進められてきた。近年は、様々なセンサを活用し、自動車及びドライバーの安全を守るための運転支援システムの開発が進められている。国土交通省の ASV 等で検討が進められている運転支援システムでは、それらの規格化・普及促進が行われており、衝突被害軽減ブレーキ（プリクラッシュブレーキ：AEBS）や車線逸脱警報装置（レーンキーピングアシスト：LKAS）、前方追従装置（アクティブクルーズコントロール：ACC）等の技術を搭載した自動車が様々なメーカーから発売されている。

他に IoT と関連の深い技術として、路面に設置された機器と車載機器で通信・コミュニケーションを行う路車間通信（V2I）（図 1-4）や、自動車の車載器同士で通信を行う車車間通信（V2V）（図 1-5）、歩行者と通信を行う（V2P）等の V2X によって、様々な周辺環境を認知し安全を守る取り組みも進められている。



図 1-4 路車間通信のイメージ

(出所) 古野電気株式会社 ホームページ



図 1-5 車車間通信のイメージ

(出所) 古野電気株式会社 ホームページ

(3) フリートマネジメント

フリートマネジメント（動態管理）の分野では、商用車やトラック等に搭載されているデジタルタコグラフやドライブレコーダー等の機器や、車室内に設置した温度センサー等を利用して位置情報や温度情報等をリアルタイムに可視化するサービスや、運転傾向等をフィードバックするサービスが増えている。以前までは、デジタルタコグラフやドライブレコーダー等に内蔵されたメモリにデータを書き出すことで管理をしていたが、近年は機器そのものに携帯回線を内蔵したものや、Bluetooth でスマートフォン等と接続し、スマートフォン経由で通信できるもの等、リアルタイムに情報を一元管理するサービスが増えてきている。

例えば、いすゞ自動車株式会社の「みまもりくんオンラインサービス」は、インターネットに接続されたデジタルタコグラフから得られた位置情報を把握し、地図上に表示

することで物流業者のドライバーの動態を管理する機能やエコドライブ・安全運転レポート等の機能を提供している。

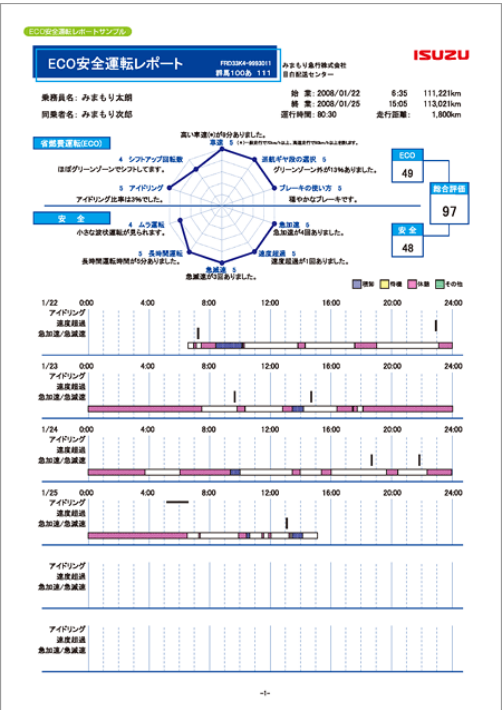


図 1-6 動態管理のイメージ

(出所) いすゞ自動車株式会社 高度運行情報システムみまもりくんオンラインサービス

(4) モビリティミックス ～オンデマンドバス、オンデマンドタクシー～

モビリティミックスは、広義には複数の交通手段を活用することを指す。モビリティミックスは、電車等の交通インフラが充実していない地域において活用が望まれており、シェアリングをキーワードに自動車やバス、タクシー等の効果的な利用方法について検

討が進められているところである。特に、利用者のニーズに合わせて運行・乗合いすることの可能な、オンデマンド型のバスやタクシーへの IoT の活用に着目が集まっている。

例えば、福岡県八女市は 2010 年 1 月に「八女市予約型乗合タクシー」⁴⁶の運用を開始した。利用者は、利用したい日時の 30 分前までに予約センターに電話し、目的地を伝えて予約することができる。予約の電話を受け取ると、利用者の電話番号を元に事前登録済みの利用者情報が表示されるため、管理者側は受付ミスの防止や時間短縮等を図ることができる。

また、東京大学は、利用者の予約状況とバスの運行状況をコンピュータにより一括管理するオンデマンドバスシステムを開発し、自治体等に提供している。画面上には、予約可能なバス及びタクシー等が表示され、利用者は画面を見ながら希望の車両を選択することができる（図 1-7）。



図 1-7 東京大学が開発するオンデマンドバスシステムのイメージ

（出所）東京大学 オンデマンド交通プロジェクトホームページ

（5）利用ベース型自動車保険（PHYD・PAYD）

自動車保険の領域では、急ブレーキや急ハンドル、急アクセル等の運転行動によって保険料を定める PHYD（Pay How You Drive）や走行距離と連動し保険料を定める PAYD（Pay As You Drive）と呼ばれる自動車保険が注目されている。米国や英国等の海外では、運転行動や走行距離を測定できる機器を用いた PHYD 型の自動車保険の導入が進んでいる。国内においても、それらのプランを導入する企業が現れてきている。

国内で初めて走行距離連動の PAYD 型自動車保険を導入したのは、あいおいニッセイ同和損保（2004 年に提供開始）であり、トヨタのテレマティクスサービスである G-BOOK を利用し、カーナビから得られた走行距離に応じて保険料を算出するものであった⁴⁷。

2015 年には国内でも PHYD 型の自動車保険サービスが提供され、注目を集めている。例えばソニー損保は、専用の小型計測器（ドライブカウンタ）を利用した「やさしい運

⁴⁶ 福岡県八女市、八女市予約型乗合タクシー(<https://www.tb.mlit.go.jp/kyushu/gyoumu/kikaku/file26/20131128-1.pdf>)

⁴⁷ あいおいニッセイ同和損保株式会社、実走行距離連動型自動車保険『PAYD』(<http://www.aioinissaydowa.co.jp/corporate/about/news/aioi/pdf/2004/T20040304PAIDHP.PDF>)

「運転キャッシュバック型」と呼ばれる自動車保険を提供している（図 1-8）。これは、ドライバーの運転特性を保険料に反映させるものである。



図 1-8 ソニー損保「やさしい運転キャッシュバック」型自動車保険

（出所）ソニー損保 ホームページ

その他、三井住友海上のスマートフォンのセンサを利用して運転傾向を診断するアプリである「スマ保」とヤフーが提供しているスマートフォン向けカーナビゲーションアプリである「Yahoo!カーナビ」が連携し、運転行動等を活用した新たなサービスに関する検討が進められている⁴⁸。

⁴⁸ 三井住友海上火災保険株式会社、プレスリリース(http://www.ms-ins.com/news/fy2014/pdf/0311_1.pdf)

1.3 IoT デバイスとして注目される移動体 ～自動運転車・ドローン～

1.2 節までは、自動車のへの IoT 活用としてすでに実用化が進められ、その活用やさらなる高度化が検討されているテーマについて述べた。本節からは、実用化までは進んでいないものの、一つの IoT デバイスとして注目され、各国・各地で研究開発がすすめられ、その活用及び運用に注目が集まっている「自動運転車」と「ドローン」に着目し、その研究開発動向と移動・交通に与える価値について述べる。

(1) 自動運転車

① 自動運転車とは

自動運転車 (Autonomous Car) は、電波を用いて周辺を認知するレーダーや光によって周辺を認知する LIDAR、位置情報を算出する GPS、カメラ等のセンサや、前述の先読み情報や周辺環境の状況を認識する V2X 等によって実現する、ドライバーの操作なしで走行する自動車を指す。ただし、自動運転の定義は、国やメーカーによって異なり、「自動運転」と題していても内訳をみるとその内容が様々であるのが現状である。

自動運転について代表的な定義の一つとして、米国運輸省道路交通安全局 (NHTSA) が公表した自動運転のレベル (Level of Vehicle Automation) が挙げられる (表 1-1)。これは、自動化のレベルから自動運転について検討されたもので、自動化されていないレベル 0 からすべての運転機能が自動で制御されるレベル 4 までの 5 段階で整理されている。

日本においても、2013 年 6 月に、科学技術イノベーション総合戦略及び日本再興戦略において、科学技術イノベーションを実現するため戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) を創設することが決定され、自動運転の定義や実現に向けたロードマップ等の検討が進められている。SIP では、社会的に不可欠で、日本の経済・産業競争力によって重要な課題に対して、府省・分野横断的な取り組みとして基礎研究から実用化・事業化までを一気通貫で研究開発を推進する取り組みであり、10 の研究課題が選定された。そのうちの研究課題の 1 つとして、「自動走行システム」が取り上げられ、内閣府・国土交通省・総務省・警察庁・経済産業省の 5 府省庁連携体制によって進められている。当該 SIP においても、自動運転に関する定義について検討が進められており、以下のようなレベルが検討されている。(表 1-2)

表 1-1 米国運輸省道路交通安全局による自動走行システムのレベルの定義

- レベル 0（非自動化）-No-Automation
 運転手が、自動車の主操縦系統（ブレーキ、ステアリング、スロットル、原動力）を常に自らコントロールし、交通のモニタリング及び自動車の全操縦系統の安全な操作について全責任を追う。
- レベル 1（限定機能自動化）-Function-specific Automation
 特定の操縦機能が自動化されている自動車。複数の機能が自動化されている場合には、それら機能が互いに単独で作動する。運転手が全体を制御し、安全な操作について全責任を負うものの、運転手は主操縦系統の限られたコントロール権限を自動操縦に任すことを選択できる（クルーズ・コントロール、自動ブレーキ、レーンキープ等）。
- レベル 2（複合機能自動化）- Combined Function Automation
 主操縦系統の最低 2 つが自動化されており、これらの機能が同時に作動し、これら機能のコントロールから運転手を開放する。運転手は特定の限定された状況下で、主要な操縦を自動車に任せることが可能である。自動運転モードが起動すると、運転手は物理的に運転から開放される（ハンドルから手を、アクセル／ブレーキペダルから足を同時に離すことが可能）。ただし、安全操作の責任は依然として運転手にあり、運転手にはショートノーティスで自動車を安全にコントロールする用意が常に必要とされる。
- レベル 3（限定自律走行自動化）- Limited Self-Driving Automation
 運転手は特定の交通条件下で、すべてのコントロールを完全に自動車に任せることが可能となる。自動車は自動運転モードで安全運転するよう設計されており、交通条件の変化のモニタリングも自動車に大きく依存する。ここで想定しているのは、自動運転モードを維持できない状況を判断して、運転手による手動モードへと安全に切り替えられるだけの適切な猶予を持って運転手に信号を送ることができる自律走行車である。
- レベル 4（完全自律走行自動化）- Full Self-Driving Automation
 すべての運転機能を実行し、走行中の交通状況をモニタリングするよう設計されている自動車である。運転手は目的地や運行指示をインプットするものの、走行中のいかなるときにも運転することはない。レベル 4 の自動車には有人と無人があり、安全運転の責任は自動走行システムにかかる。

（出所）中山幸二他、「自動車オートパイロット開発最前線 ～要素技術開発から社会インフラ整備まで～」

表 1-2 内閣府・SIPにおける自動走行システムのレベルの定義

自動化 レベル	概要	左記を実現するシステム	
レベル 1	加速・操舵・制動のいずれかを 自動車が行う状態	安全運転支援システム	
レベル 2	加速・操舵・制動のうち複数の操作を 同時に自動車が行う状態	高度安全運転支援 システム	自動走行 システム
レベル 3	加速・操舵・制動を全て自動車が 行い、緊急時のみドライバーが対応する状態		
レベル 4	加速・操舵・制動を全てドライバー以外が 行い、ドライバーが全く関与しない状態	完全自動走行 システム	

(出所) 内閣府・SIP「自動走行システム」研究開発計画

自動運転について留意するポイントとしては、必ずしもすべての操作を常に自動車の制御に任せないという点があげられる。例えば、駐車時や高速道路走行時等の特定のシーンではレベル 4 の自動運転であり、センシングが困難なところではレベル 1、それ以外のシーンではレベル 2 及び 3 とする等、運転状況に応じて自動化レベルを可変とすることが想定されており、ドライバーの介在を前提とする“人間中心の自動化”が目標とされている。

一方で、コンセプトベースでは、IT 企業である Google が 2014 年 5 月にハンドルのない自動運転車 Google Car を発表したのは記憶に新しく、Apple も自動運転車の研究開発に着手すると発表したところである。また、ダイムラーは、車内をリビングルームとして利用できるような自動運転の新たな可能性を追求し、自動運転時には 4 座席設置されたシートを回転して同乗者と面と向かって会話ができ、手動走行時には運転席が前向きに戻るといった新たなコンセプトを発表した。このように、ドライバーの介在を必ずしも前提としない“機械中心の自動化”での検討も進められている場合もある。

(2) 自動運転の研究開発動向

自動運転の研究開発は、現在各国自動車メーカーや政府の取組みによって進められている。以下より各国事例について紹介する。

① Audi

2014 年を目処に自動運転の一部機能を A7～A9 の車種に搭載すると発表しており、実現に向けて 2014 年 7 月 25 日には、フロリダ州タンパにおいて自動運転車の公開実験を行っている。また、2015 International CES においては、NVIDIA と共同開発した自動運転

車を発表し、シリコンバレーからラスベガスまでの約 900km の公道で自動運転を行った（図 1-9）。2015 年 3 月には、高級セダンである新型「A8」に交通渋滞時の自動運転機能と自動駐車機能を備え販売を開始することを計画していると発表している。



図 1-9 CES における Audi と NVIDIA 社による自動運転に関する展示

（出所）2015 International CES にてみずほ情報総研撮影

② ダイムラー

同社からは Intelligent Drive と呼ばれる安全支援システムが取り付けられた自動車が既に販売されている。同社の自動運転車は、高価なセンサを用いず、また通信を前提とせずに走行できるとしており、事故を防止する「安全性」と、ドライバーを支援する「快適性」を実現する技術として自動運転を捉えている。

Intelligent Drive 機能では、77GHz 帯（中・長距離）レーダーと 25GHz 帯（短距離）レーダーの 2 種類のセンサを中心に車外環境を計測し、前方車との車間距離制御や衝突防止ブレーキアシスト・警告、ブラインドスポットモニタリング、レーンキーピングアシスト、渋滞時の低速オートクルーズ、パーキングアシスト等の機能を備えている。

これらの機能を実現するために、同社では様々なレーダーセンサー、ステレオマルチパーパスカメラ、超音波センサを設置している。

2015 International CES では、前述のとおり、車内をリビングルームとして利用できるような自動運転の新たな可能性を追求したコンセプトを発表したところである（図 1-10）。



図 1-10 ダイムラーの自動運転のコンセプト

（出所）2015 International CES にて、みずほ情報総研撮影

(3) 自動運転技術の活用

前述まで述べてきた自動運転は、1.2 の安全技術の高度化としての高度安全運転システムとして各社が開発されているものであり、2020 年ごろの実用化が検討されているところである。自動車の運転においてドライバーへの依存度が低くなればなるほど、移動・交通における自動車の価値が変わるものと推察される。

例えば、バス等の公共交通機関における自動走行システムにおいては、前述の SIP の取組みの 1 つとして考えられている次世代都市交通システム（ART：Advanced Rapid Transit）が挙げられる（図 1-11）。

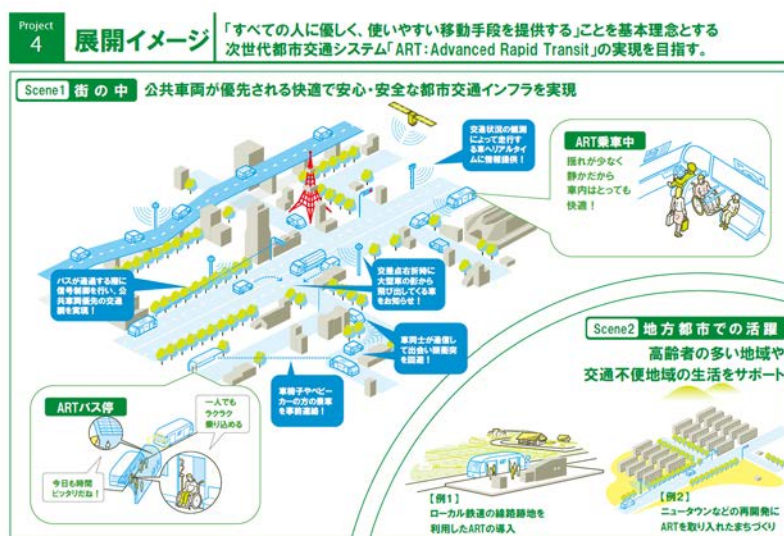


図 1-11 2020 年の東京五輪での実用化を目指す次世代都市交通システム（ART）

(出所) 内閣府 2020 年オリンピック・パラリンピック東京大会に向けた取組

ART は、2020 年東京五輪での実用化を目指して開発が進められているところであり、路面バスに対して自動運転の技術を取り入れるものであり、バス停への正着制御機能や周辺の交通状況を踏まえたスムーズな加減速機能による車内転倒事故防止や、公共車両を優先する信号制御システムと連携し定時運行性確保を図るものである。

2020 年頃までに、都心から勝どきを経由し、臨海副都心に至る地域において導入されることが想定されている。また、ART を地方に活用することにより、地方再生の足掛かりとしても期待されている。

ART は、自動運転制御技術だけではなく、歩行者や他の自動車を検知する V2X を活用した高度運転支援システム、交通流・渋滞の把握を行う C-ACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) 等の技術を活用して実用化が進められている (図 1-12)。

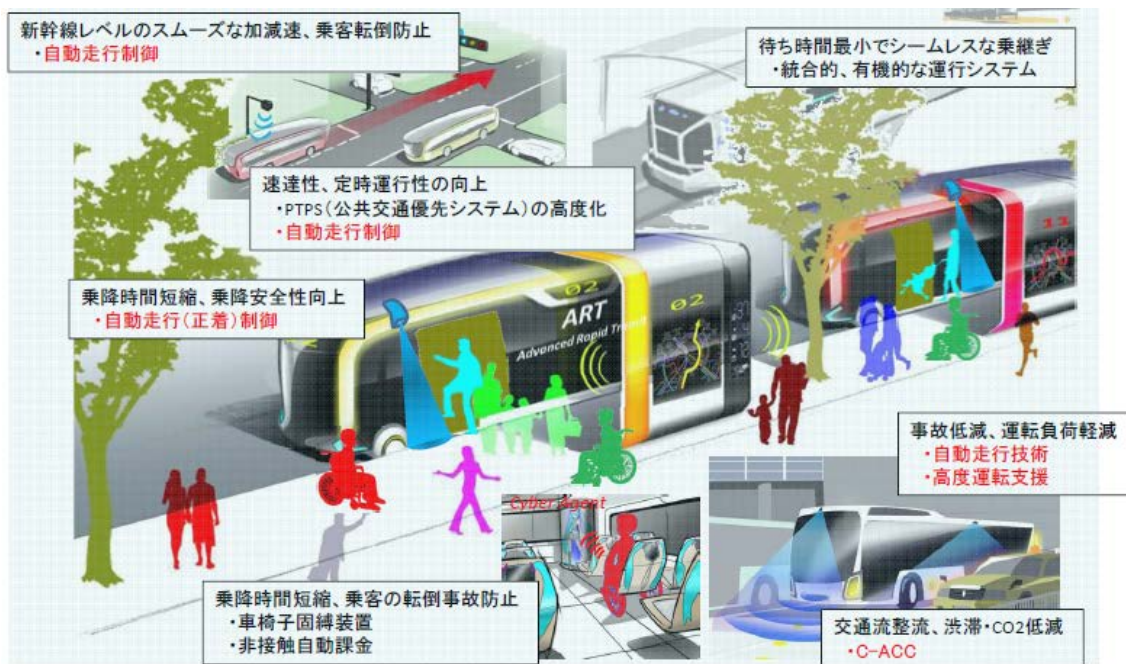


図 1-12 次世代都市交通システム（ART）に必要な技術

（出所）内閣府・SIP「自動走行システム」研究開発計画

この技術が実現すれば、目的地までの速達性・定時運行性の向上が望まれるだけでなく、渋滞・CO2削減等が期待され、公共交通機関の姿が変わっていくものと推察される。

また、公共交通機関だけでなく、普通乗用車等に完全自動運転機能が搭載されることで、安全性の向上、渋滞・CO2削減等が見込まれるだけでなく、運転への依存度低下に伴い自動車のあり方が変化すると思われる。例えば、自動車での移動の時間を効率的かつ快適で、楽しく過ごすことを目標とした自動車の開発が進む可能性もあり、住宅分野等で開発されているような快適性、楽しさ等を実現する技術が自動車に対して適用されることも考えられる。

(4) ドローン

① ドローンとは

ドローンとは、無人航空機全般について総称するものである。無人航空機は、旧来より主に軍事利用を目的として開発が進められてきたが、近年は、マルチコプター型の無人航空機が普及しつつある。その活用は、上空からの撮影や、危険地帯での撮影、スポーツの撮影等の撮影への利用や農薬散布等の農業への活用、ものを運ぶ移動体としての物流への活用等が検討されているところである。

ドローンは、様々な種類の機器が開発されており、その大きさ等によって活用範囲が異なっている。

例えば、フランスのパロット（図 1-13）や中国の DJI（図 1-14）は小型のマルチコプター型ドローンを中心に開発している。

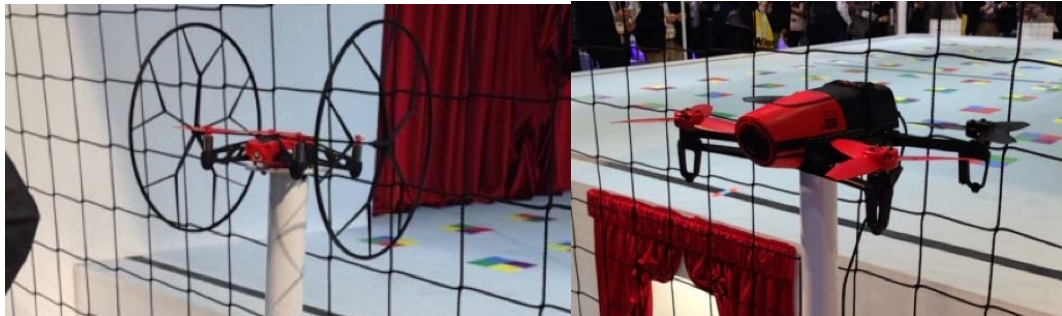


図 1-13 Parrot 小型ドローン（主に空撮向け）

（出所）2015 International CES にて、みずほ情報総研撮影



図 1-14 DJI 小型ドローン（主に空撮向け）

（出所）2015 International CES にて、みずほ情報総研撮影

小型のドローンは、10 万円以下の製品もあり、持ち運びも用意であることから、産業用途だけではなく個人でも利用されており、主に空撮目的で利用されている。

また、米国の Honeycomb⁴⁹等では農業用途向けに中型のドローンを開発しているほか、国内においては PRODRONE が中型のドローンを開発している（図 1-15）。

⁴⁹ Honeycomb(<http://www.honeycombcorp.com/>)



図 1-15 測量向け中型ドローン

(出所) PRODRONE ホームページ

さらに、ドイツの DHL⁵⁰や米国の Facebook⁵¹、Amazon⁵²は、物流向けを中心とした大型のドローンを開発している。

② ドローンの活用

ここまで述べてきたドローンは、小型から大型のものまで様々な種類が存在し、用途も複数存在する（例えば、物流、精密農業、インフラ維持管理等）。先に述べた自動運転車のように、道路等のインフラに依存せず、空を自由に飛行することができるドローンは、その自由度がゆえに、様々な可能性が秘められている。もし、自動車と同様にドローンにも空路が設定されたとしても、地上とは異なり空は高さがあるため、多層の空路を容易に構築することができるだろう。

例えば、物流の分野では、Amazon 等の EC に対して、より効率よく、配送スピードを向上させようとするすると少量多配送となっていく。現状の交通インフラを考えると、トラックでそれを実現することは難しく、バイク便や自転車等で実現しようとしても多くの働き手が必要になり、非現実的である。ドローンの場合は、完全に無人ではなくとも、複数機器を一括管理して稼働することが可能となるため、少量多配送の物流を実現するためには非常に有効な手段の一つであろう。

例えば、Amazon ではドローンとトラック等による物流環境の構築を行っているところであり、ドローンの実用化が進めばマルチモーダル化・速達性の向上が進むと考えられる。

⁵⁰ DHL、Press Release

(http://www.dhl.com/en/press/releases/releases_2014/group/dhl_parcelcopter_launches_initial_operations_for_research_purposes.html)

⁵¹ Facebook、Internet.org(<https://www.internet.org/>)

⁵² Amazon、Amazon Prime Air(<http://www.amazon.com/b?node=8037720011>)

現在でも、クロックスは希望した商品をドローンで運んでくれるようなデモンストレーションとして Flying norlin project を既に行っている⁵³。

また、香川県では、瀬戸内海に浮かぶ離島への物資の輸送にドローンを活用する Kamome Air プロジェクトが進んでいる。Kamome Air プロジェクトは、1 月に高松港と男木島を結び、医薬品等の荷物を積んでドローンで運ぶ実証実験に成功している（図 1-16）。



図 1-16 ドローンを用いた利用への物資配送プロジェクト「Kamome Air」

（出所）Kamome Air プロジェクト ホームページ

また、米国サンフランシスコでは、携帯のアプリ上で注文すると 24 時間いつでも医薬品を 15 分以内に届ける QuiQui と呼ばれるサービスが始まっている⁵⁴。米国におけるドローンの規制は、米連邦運輸局（FAA）が管轄しており、大きな荷物をドローンで配送することは禁止されている。ただし、医薬品は小さく配送が簡単であり、高度も地上 500 フィート以下を走行することから、民間航空機への影響も少ないため、サンフランシスコ内に限りサービスを行うことができています。

⁵³ クロックス株式会社、Flying norlin project(<http://www.crocs-norlin.com/>)

⁵⁴ QuiQui(<http://quiqui.me/>)

1.4 移動・交通分野におけるIoT活用の展望、課題

IoT は人の移動を便利にしたり、物流を効率化したりする一方で、様々な課題が萌芽しつつある。以下では、移動・交通分野におけるIoT活用の展望と、想定される主要な課題について、自動運転とドローンの活用の観点から考察する。

(1) 移動・交通分野におけるIoT活用への期待

これまでに紹介した移動・交通分野におけるIoT活用事例や自動運転・ドローンの活用事例を見ると、IoTの進展により移動・交通が変化していくことが期待される。ここでは、IoTの進展が移動・交通にどのような変化を及ぼすかを考察する。

① 情報の流れは人間中心から機械中心に

操縦の自動化に伴い、運転主体が人間から機械へと変化することで、情報の中心が人間であったものが機械に代わる（図 1-17）。

自動車のドライバー等の機器を操縦する人間が存在する状況においては、外部環境に関する情報やその操縦に関する分析・評価結果は、操縦者本人に提供される。その場合、操縦者は外部環境や分析結果を見ながら、操縦行動を学習していく。一方で、操縦者への依存度が低下し、機械が主となり機器を操縦する状況においては、外部環境に関する情報や操縦に関する分析・評価結果は、操縦の主である機械に対して行われるようになるだろう。その場合、人間ではなく機械が外部環境に応じた操縦の方法を、分析結果から学習していくことになる。このように、情報の流れの中心は、操縦が人間から機械へ遷移していくのと同様に機械へと遷移していく。

また、自動車を保有しそれを管理する側から考えてみると、その動態や操縦者の状態を把握するために情報をそれぞれから収集する必要がある。物流企業やタクシー会社の場合、運ぶ荷物やドライバーの事故を防ぐために、自動車の整備情報やドライバーの運転状態、動態を管理する。一方で、トラックやバスの運転が機械に変わると、その運転の主は機械が行うため、主に機械の管理を行うということになるだろう。また、目的地まで自動で移動する等の遠隔での制御が可能になると、管理する側においても移動の制御を行うことができるようになる。例えば、物流企業においては、自動運転車及びドローンを共用し、小さいかつスピードが求められるものについてはドローンで運び、大きく移動距離が長いものについては自動運転車で運ぶ等、一つの運搬ツールとしての活用が期待できる。タクシー会社も同様に、タクシーを利用したいユーザーがいた場合に、その地点まで自動でタクシーを移動させることも可能になる。

さらに、自動車の利用は、自動車を保有している方だけでなく、タクシーやバス等の公共交通機関を利用する方（ここでは、二次利用者と呼ぶ）も存在する。現在では、移動に関するニーズに対して、タクシーや公共交通機関、レンタカー等を利用することが一般的である。一方で、自動運転車が実現すると、その移動ニーズを自動車に送信する

と自動でその場所まで向かい、目的地まで乗せてくれるようなサービスの実現が可能となる。

このように、操縦する主体によって情報の流れが変わり、そのものの利用方法が変わる可能性がある。ここでは、物流企業やタクシー会社等を例に挙げたが、自動運転車の活用ニーズは、現在の自動車を活用している業界だけではない部分にまで波及する可能性も秘めている。利用者サイドから考えれば、ドライバーも二次利用者も運転負担の低減、移動手段の多様化、交通事故低減、燃費向上等、様々なメリットがある。実用化及び実現には、前述のような課題に留意する必要があるものの、業界及び利用者に与える価値は大きく、移動・交通での現況の構造を変えるインパクトがある。

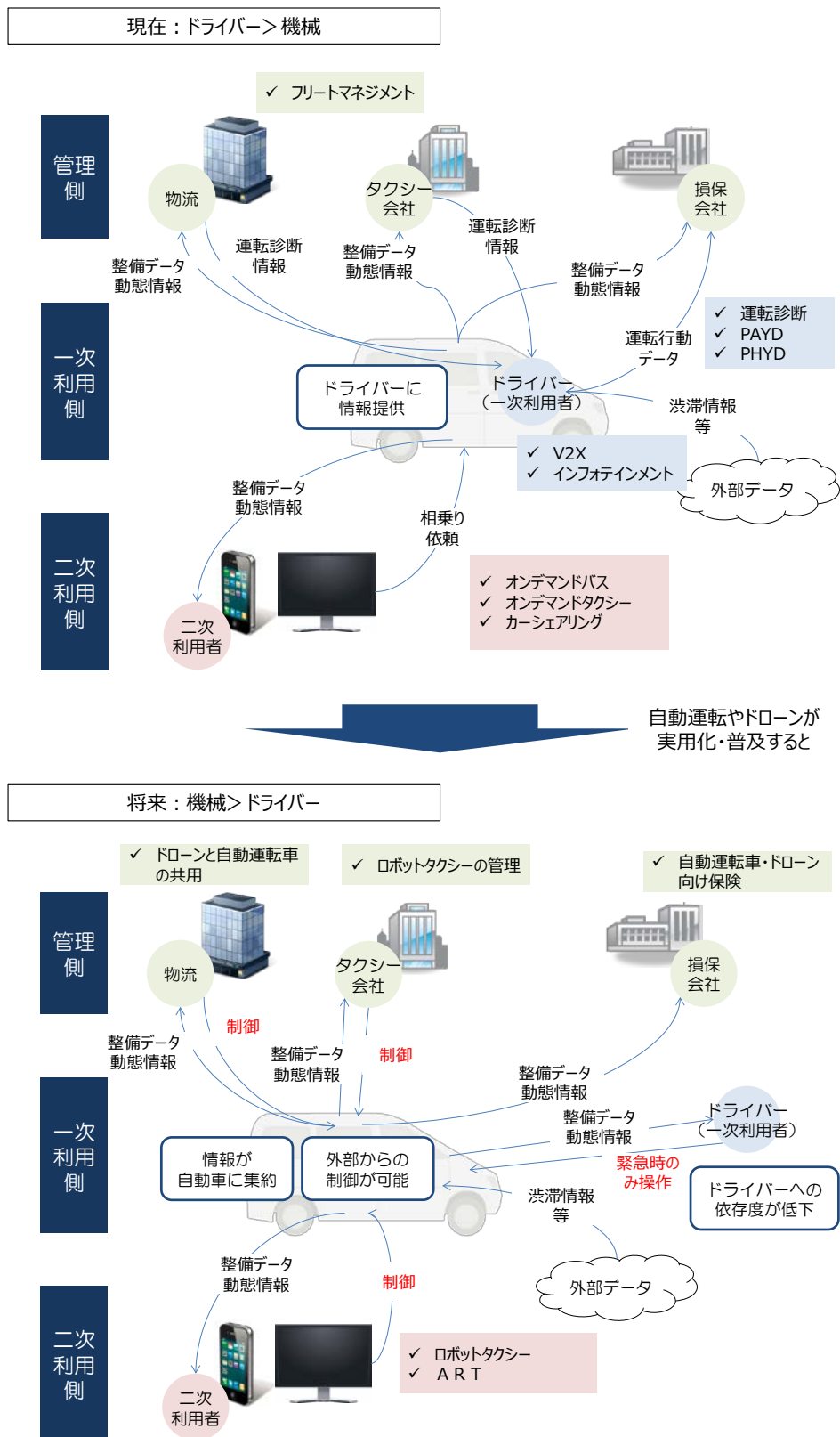


図 1-17 運転主体の変化に伴う情報の流れの変化

(出所) 各社資料をもとにみずほ情報総研作成

② 機器の存在価値の変化が新たなサービスを生み出す

現在の自動車は、走ることが主な楽しみ方とされ、走行性能が高く、デザイン性の良いクルマが憧れの的とされてきた。今後は、スマートフォン OS ベースの車載インフォテインメントの高度化に伴い、スマートデバイスを活用した新たな楽しみが生まれる可能性があるほか、前述のようにドライバーへの依存度が少ない状況が生まれる独ダイムラーのような自動運転車が実用化されれば、自動車の中をリビングルームのように楽しむこともできる。リビングルームとなると、現在開発が進められているようなスマートホームのような暮らしの変化ともつながってくるだろう。

ドローンの活用においては、現状は空撮等のエンターテインメント関連での活用が多い。法規制等が整い、ドローンによって物を運ぶことができるようになれば、その移動の自由性から、物流の即時性向上に大きく貢献する可能性がある。その場合、例えば、Amazon はボタンを押すだけで商品を購入し、自宅に配送してくれる Amazon Dash Button⁵⁵と呼ばれるサービスを発表している。これは、物品の購入を非常に容易にする一方で、物流に係る負担は非常に大きいことが推察され、ドローンの活用の用途がある。このサービスにドローンが活用されれば、その配送の即時性が向上し、ボタンを押して時間がかからないうちに商品が到着するようなことも考えられる。

このように、自動車やドローン等、それぞれの存在価値が変化することで、様々な企業による活用が進み、新たなサービスが生まれる可能性がある。それらのサービスは、ユーザーの時間の効率化等に貢献し、人々の生活を豊かにしていくだろう。前述でも記載したが、活用を模索する様々な企業の参入に伴い多くのサービスが生まれる。それらの業界の動きは、それを利用する人々の移動・交通の価値や存在意義、過ごし方等様々なものを変えるのではないだろうか。

(2) 移動・交通分野における IoT 活用に関する課題

① 技術的課題

自動運転やドローンでは、人間への依存度が低くなればなるほど、高精度のセンシング技術が求められる。特に、自動で移動する機器と人間が操作する機器、人間自身が共存する環境においては、自身以外の自動車及び航空機、歩行者等の移動体を検出する技術が重要となる。以下より、それぞれの技術的課題を記載する。

1) 自動運転

自動車が走行する交通環境では、自動車やバイク等の高速で移動する物体が多数存在している。これらの物体は、単に現在位置（相対位置）をセンサで計測するのみでは不十分であり、その運動状態を推定した上で将来位置を予測することが求められる。一方、

⁵⁵ Amazon、Amazon dash button(<http://www.amazon.com/b/?node=10667898011&lo=digital-text>)

ライダーやステレオカメラを用いた場合、各センサからは各時刻における物体の位置情報が得られるのみであるため、移動物体の運動を推定することは難しい。また、ミリ波レーダーについても電波照射方向に対する相対速度が計測されるものの、垂直方向の速度を計測することはできない。このため、通常は計測された物体の位置情報を時系列的に追跡し、カルマンフィルダなどを用いて運動推定（位置や速度等）を行うことが必要となる。

各種センサから得られる情報は、各時刻における複数の物体の観測値のみである。そのため、センサから得られる複数の観測値と次の時刻での観測値を時系列的に対応付ける必要がある（Data Association）。この方法として、従来は予測位置に最も近い観測値を選択する Global Nearest Neighbor（GNN）法や確からしさに応じて対応付けを行う Probabilistic Data Association Filter（PDAF）法等が開発されている。また、近年のコンピュータの性能向上により、対応付けの仮説を複数保持しながら処理を進め、数周期経過後に最適な対応付け仮説を決定する Multi-Hypothesis Tracker（MHT）法等のよりロバストな対応付け手法も用いられるようになっている。

しかしながら、公道には様々な移動体が存在するため、より良い精度で動きを予測するためには、単に観測値からの移動を紐付けるだけではなく、その障害物・物体が何であるかを把握することが重要であり、その物体の特性にもとづき今後の動的予測を決定することが可能になる。

2) ドローン

米国の Boeing、フランスの Airbus 等の民間航空機は、航空機同士の衝突を航空機衝突防止装置（ACAS）が利用されている。しかし、ACAS は、トランスポンダと呼ばれる無線通信に対する自動応答装置が搭載されていることが前提であり、トランスポンダが搭載されていない飛行物は ACAS で捉えることができない。例えば、気球観測用の気球等については、ごく稀に ACAS で検知できずに衝突することがある。また、近年の民生用の無人航空機の普及に伴い、上空に多数の無人航空機が航行している場合、ACAS を元に運航している航空機は避けることができない可能性もある。そのため、無人航空機自身が、周囲を検知し障害物を避ける技術の高度化が求められる。

② 制度的課題

自動運転やドローンが人間に頼らず自律的に移動する場合、その操作はドライバー等の人間によって行われなため、自動車そのものが操作することになる。そのため、人間が操作していない状況下で事故が発生した場合は、その責任が同乗していた人間になるのか自動車そのものになるのか等、責任の所在が大きな課題となる。自動車業界及び航空機業界は人間中心の自動化を進めており、ドライバー・パイロットの存在が前提となっている。以下より、その両者における制度的課題に関する動向を示す。

1) 自動運転

世界的に、現在の法体系は自動運転を想定しておらず、基本点に「自動車は人が運転するもの」という前提のもと各種法律や制度が構築されている。具体的には、1949年のジュネーブ条約と1958年のウィーン条約がその根拠となっているが、現在欧米においては自動運転車が公道を走行できるよう、それらの条約を改定するとともに、各国の法制度を見直す動きも出てきている。例えば、米国では州議会においてネバダ州、フロリダ州、カリフォルニア州、ミシガン州、コロンビア特別区（2013年1月）の4州と1特別区において、公道での自動運転の実験が行われている。当初は、実験目的での走行に限定されると想定されるが、Bryant Walker Smith（スタンフォード大学フェロー）が作成した白書では「自動運転は米国ではおそらく合法である」と結論付けられている。ドイツの道路交通規則では自動運転の実現に際して制約となる事項はないとされている。英国ではこれまで公道での自動運転自動車の走行を認めていなかったが、英国政府は、2013年末までに英国の公道で無人走行車の実証運転を実施することを発表した。今のところ自動運転自動車に関する法律は未整備である。今後、米国を中心に自動運転自動車に関する法整備が進んでいくと思われるが、我が国においても自動運転車が公道を走行するための法制度改正が求められている。

自動運転車の普及に向けては、自動運転に係る装置の普及を促進させる手段として、各国政府が定める法規と、政府もしくは民間団体が規定し安全な車両の購入を促す自動車アセスメント NCAP（New Car Assessment Program）がある。

衝突安全に関する分野においては、主に各国法規が主導する形で、車両自体の安全性向上や衝突時の乗員の傷害低減に効果を上げてきた。実際に、横滑り防止装置（ESC）は日米欧で既に義務化されている。また、事故件数は少ないものの一方で被害の大きい大型車を中心とした衝突被害軽減ブレーキや車線逸脱警報等の衝突を予防する分野においても義務化が進んでいる。EUでは、2013年11月から全ての新型商用車、2015年11月に全ての商用車の新車に自動緊急ブレーキの装備が義務化される。アメリカでは米国運輸省道路交通安全局（NHTSA）が、全新車への義務化を検討している。日本でも大型トラックやバスに対して、順次義務化が進められている。例えば大型トラックの新型生産車では、車両総重量22t以上と13t以上のトラクタは2014年11月1日から、20t超22t以下のトラックは2016年11月1日から義務化される。また、2014年2月には性能要件を強化した衝突被害軽減ブレーキがより広いトラックに義務化されることが決定した。

一方で、乗用車を対象とした予防安全技術については、NCAPが中心的な役割を果たし安全の基準化が進められている。Euro NCAPは2014年に衝突回避支援ブレーキを導入し、2016年には歩行者 AEB の導入を決定している。日本の J-NCAP も採用する計画である。NCAPは今後も進化し、車両の安全性強化をリードしていくものと考えられる。

	～10	11	12	13	14	15	16	17	18～
	●Decided ○Under discussion				○AEB(衝突被害軽減 ブレーキ) LDW(車線逸脱警報)		○Pedestrian AEB LKA(車線維持支援) Pedestrian Warning at night		
	●FCW(前方車接近警報) LDW(車線逸脱警報)				○AEB		○Pedestrian AEB		
				●SAS (Speed Assist System)	●AEB LDW/LKA		●Pedestrian AEB		

図 1-18 日本・米国・欧州の予防安全技術の動向

(出所) デンソーテクニカルレビュー Vol.18 をもとに、みずほ情報総研作成

自動運転の実現により、自動車保険業界においても大きな影響が生じると考えられる。ハンドル操作がいらない「自動運転」が実現・普及する世界では、交通事故の大幅な減少が期待される一方で、事故の際の責任は運転手にあるのか、自動車メーカーや通信機器メーカーにあるのかといった新たな問題が浮上している。自動運転の定義が確立されていないため、運転手にとっても、運転する自動車の自動化がどの程度であるのか、また、信頼性がどの程度であるのかを把握することは難しく、機能を過信したことによる事故増加の可能性も考えられる。

実際に、2013 年度から自動ブレーキ機能に起因する事故が相次いでいる。例えば、2013 年 11 月には自動ブレーキ体験試乗会で 2 人が重軽傷を追う事故が起こっている。自動ブレーキ機能は時速 30km 未満の走行時に作動する仕組みであり、運転手の自動運転機能の過信による速度超過のために機能が作動しなかったとされている。また、同年 5 月においても、首都高速走行中の自動車に急ブレーキがかかり後続車に追突される事故が発生している。

自動運転はその技術が萌芽し始めた段階であり、自動車保険業界においても、検討が始められた段階である。損害保険大手の「東京海上日動火災」は、2014 年 4 月に、次世代技術が普及した場合の自動車保険のあり方を検討する専門チームを立ち上げている。同チームでは将来交通事故が減少した場合の契約件数の変化の推計、自動車や通信機器のメーカー側の新たなリスクに対応する保険の必要性等を検討している。自動運転技術の実用化に向けて、もしも事故が起こってしまった場合に、誰がどれだけ責任をとるのかという、運転者や自動車メーカーの責任範囲を正しく設定することが重要な課題となるであろう。

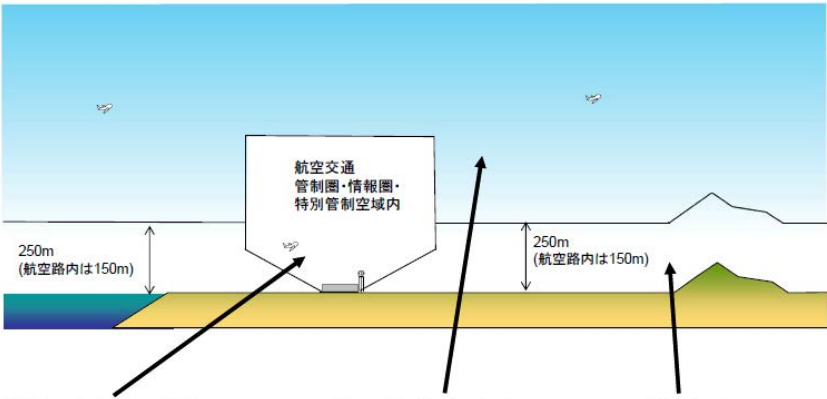
2) ドローン

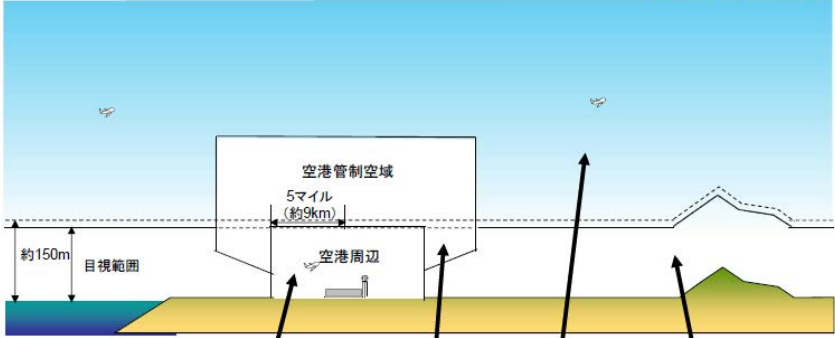
無人航空機（ドローン）に関しては、物流や精密農業、インフラ維持管理等の様々な用途での活用が検討される一方で、法規制に関する検討も併せて進められているところ

である。例えば、Amazon Prime Airのような大規模なドローンの導入となると、ドローンが飛行可能な領空が、それらで埋め尽くされる可能性も考えられる。他にも、無人航空機によるカメラ撮影によるプライバシー侵害の恐れや、機体の落下などによる事故、テロ行為への悪用等が考えられる。そのため、非認証の機体の販売を禁止することや、利用するための免許を設けること、飛行区域を制限すること等の法規制を整備することが求められている。日本、米国、カナダ、イギリス、フランスにおける法規制の動向を表 1-3 に示す。

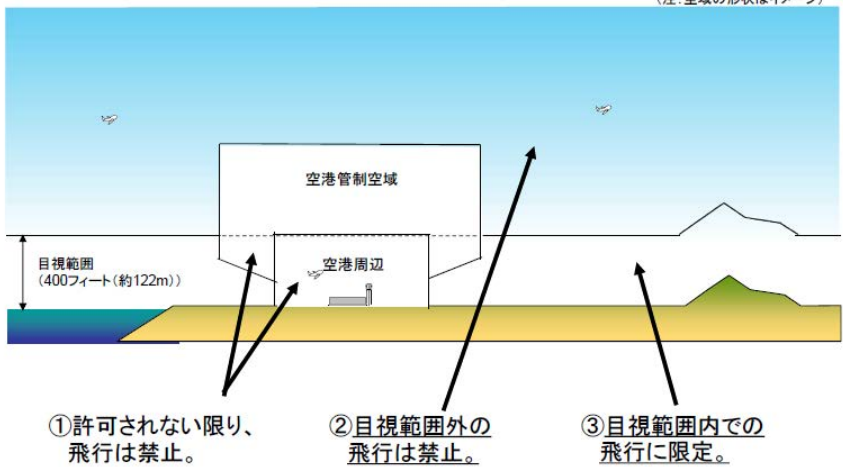
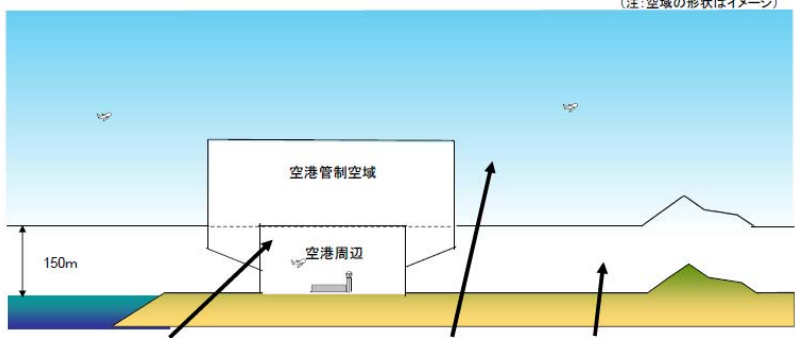
表 1-3 ドローンに関する法規制の現状動向

国	法規制の現状動向
日本	● 日本の航空法では、UAV の取り扱いに関しては正式な見解がないのが現状である。現在の一般的な解釈で考えると航空法上の「模型航空機」に該当するとされ、例えば、飛行空域は「航空機の飛行に影響を及ぼすおそれがある行為」をしてはならないとされている（航空法 99 条の 2、航空法施行規則 209 条の 3 第 1 項 3 号）。 ● 航空機の飛行に影響を及ぼすおそれがある行為は、「航空機の飛行に飛行禁止区域の飛行」、「空港やその周辺（概ね半径 9 km 以内）」、「航空路内で地表 or 水面から 150m 以上の空域」「航空路外で地表 or 水面から 250m 以上の空域」等である（航空法施行規則 209 条の 3、209 条の 4）。 ● また、UAV の利用には電波が伴うため「電波法」の対象にもなっている。一般的には、「微弱無線局」として電波法施行規則第 6 条に定義されている電波強度を上回らなければ免許は不要となっている。しかし、例えば、海外の UAV 等の利用に際しては前述の微弱無線局に適合しないリスクがある（海外製品の場合、2.4GHz 又は 5.8GHz の電波が利用されていることが多く外で使うことができない）。 ● その他にも、道交法（上空 300m 以内については、土地所有者の承諾が必要）やプライバシー問題（総務省「小型無人機「ドローン」による撮影映像等のインターネット上での取扱に係る注意喚起」（2015 年））等様々な法規制が複合的に関係しているのが現状である。 ● さらに、近年の事件・事故を踏まえ、各自治体による規制等も含めて、人が集まる公園や観光地、県庁、重要施設での UAV 利用を禁止する検討、UAV 購入時の登録義務等より法規制に対する整備が進むことも予想される。

国	法規制の現状動向
	 ①許可されない限り、飛行は禁止。 (航空法第99条の2第1項) ②予め通報することで、飛行が可能。 (航空法第99条の2第2項) ③航空法上、規制はない。
ICAO	● 2007 年より UASSG (Unmanned Aircraft System Study Group) を設置し、無人航空機 RPAS (遠隔操縦航空機システム) を既存の航空宇宙システムに統合するための検討を進めてきた ● 2014 年には RPAS (Remote Piloted Aircraft System) Panel に格上げし、2015 年中の RPAS マニュアルの正式発効、2019 年以降にシカゴ条約付属書改訂 (RPAS について国際標準化) を図るとしている。 ● また、ISO では、2014 年 ISO/TC 20/SC 16 Unmanned Aircraft Systems が立ち上がり無人航空機に関する標準化が進められているところである。
米国	● UAV に関する法規制を検討中であり、「個人向け (Model Aircraft) 」や「商用向け (Civil UAS) 」、「公共向け (Public UAS) 」と法令が区分して定義されている。 ● 「商用向け」は、空撮事業や産業機器・工場検査への活用やセキュリティ・通信への活用が想定されており、利用には FAA (Section 333) の許可が必要となる (2015 年)。許可に必要な要件としては、「高度約 152m 未満」、「昼間に限る」、「操縦者の視界内」、「関係者の頭上のみ」、「有人航空機とは離れた場所」等で利用することが定義されている。 ● 「個人向け」では、模型航空機及びラジコンの利用等として、AMA ガイドライン (sUAS Flight Safety Guide、2014 年策定) や FAA 等に従う「高度 400ft (約 120m) 未満にし、可能なら周囲の障害物の下を飛行すること」や「常に UAS を視認できる位置で飛行させること。必要であれば観測者の支援を活用すること」、「有人航空機と干渉しに位置で飛行し妨害しないこと。また、他の航空機や障害物を常に視認して回避行動をとること」、「悪天候 (強風あるいは視認性が悪い天気) では飛行しないこと」等の利用に限定されている。 ● 「公共向け」に関しては、「法人向け」と同様に FAA に対する免除承認証明書 (COA) が与えられることで認められる。

国	法規制の現状動向
	a. 2012年FAA(米国連邦航空局)近代化改革法 b. 小型無人航空機に係る米国規則案 (注: 空域の形状はイメージ)  ①そもそも商用利用はFAAの許可が必要。(a) ②空港周辺における趣味での飛行は、目視範囲内に限定の上管制機関に通報。(a) ただし、有人航空機の運航を妨害することは禁止。(a) ③商用利用の場合は管制機関の承認が必要。(b) ④趣味・商用問わず目視範囲外の飛行は禁止。(a, b) ⑤趣味・商用問わず目視範囲内の飛行に限定。(a, b) ただし、有人航空機の運航を妨害することは禁止。(a, b) ※小型無人航空機の重量は原則として55ポンド(25kg)未満(a, b)
カナダ	● 2008年にはすでに35kg以下の機体に対するルール作りが完成しており、既に1000社以上が認証され、合法的にUAVを活用し、発電所や送電線の監視にUAVが実用化されている。 ● また、一定規模以上のUAVを操縦するためにSFOC(Special Flight Operating Certificates)と呼ばれるライセンスが必要になる。 

国	法規制の現状動向
	【商用利用の場合】 ● 重さ 25kg 以上の場合、もしくは、飛行許可免除要件以外の飛行の場合、特別飛行許可申請が必要となる。 ● 重さ 2.1kg～25kg 以下の場合、飛行許可免除要件を順守しながら、「連絡先」、「機種」、「業務内容」、「飛行区域」の届出が必要になる。 ● 共通の飛行禁止事項には、「森林火災、飛行場、ヘリポート、ビル街から 9km 以内」や、「軍用施設、刑務所、飛行管理区域、飛行禁止区域での飛行」、「危険物やレーザーの搭載」等が含まれる。 ● 重さ 2.1kg～25kg では、上記に加え、「18 歳以上」や、「疲労やアルコールの影響がないこと」、「十分に機体検査を行い、飛行区域の調査をする」、「民有地の上空を飛ぶ際の事前の許可取得」、「直接できる範囲のみ」、「有人飛行機の飛行優先」、「昼間及び好天候の場合のみ」、「少なくとも 150m 以上、関係以外の人、動物、建物、構造物、乗り物から離れての運用」等が含まれる。
欧州	● 2003 年に安全管理の分析・研究、航空機や部品の認証・承認を行う機関として設立された欧州航空安全機関 EASA (European Aviation Safety Agency) が、ICAO 及び FAA と連携しながら UAV に関する基準作りを行っており、欧州内での商用 UAV の利用には EASA の認定が必要となる。 ● EASA の認定は、「Open Category」、「Specific Operation Category」、「Certified Category」の 3 つに区分されており、「Open Category」は、「目で視認できる範囲 (VLOS : Visual line of sight) : 500m 以内」、「地表・水面から 150m 以内」、「空港等の重要施設以外の飛行」等が運用ルールとして規定されている。
英国	● 交通省内の民間機航空安全局 CAA (Civil Aviation Authority) が、2014 年に民間で UAV を活用することに対する運用上のルールを出している。 ● SUA (Small Unmanned Aircraft : 重量 20kg 以下で飛行開始時に何らかの機器類を内蔵または装着している機体) は、「操縦者の有視界飛行を超えた運航はできない」、「地表 400ft (約 120m) を超えない」、「500m の最大距離を限度とすること」等が定義されている。 ● BMFA (British Model Flying Association) は、UAV の操縦に関する技量認定制度を開始し、「Multi-Rotor:A 単独で安全に飛行できる基礎的な知識と技量を有しているか」、「Multi-Rotor:B 人前でデモフライトができる安全配慮と技量を有しているか」といった区分となっている。

国	法規制の現状動向
	(注: 空域の形状はイメージ)  ① 許可されない限り、飛行は禁止。 ② 目視範囲外の飛行は禁止。 ③ 目視範囲内での飛行に限定。
フランス	● 2012 年に商用 UAV に関する規制「RPAS Regulation」を周辺他国と比べていち早く整備し、UAV の操縦に関する規則等を策定している。 ・ 遠隔操縦航空機に関する規則(フランス:2012.4.11) (注: 空域の形状はイメージ)  ① 空港周辺における目視範囲内の飛行は、管制機関等との協定が必要。 ② 目視範囲内で150mより高い高度を飛行させる場合は、安全予防措置等を策定し、予め当局への通報が必要。 ③ 目視範囲内の飛行に限定。ただし、模型機協会として活動をする場合は予め当局へ通報が必要。 ④ 目視範囲外の飛行は空港周辺を除き、高度50m未満に限り認められる。また、航空機に対する規定が適用される。

(出所) 国土交通省、カナダ航空局公表資料をもとに、みずほ情報総研作成

また、米国 FAA は、「Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems(UAS) in the National Airspace System(NAS) Roadmap」と呼ぶ文書を公表しており、無人航空機を米国内の空域で積極利用するために、操縦者や自動飛行システム等に関する要求や認証プログラム等の検討を本格化させている。また、欧州についても、欧州安全機関 EASA を中心に、「European RPAS Steering Group(ERSG)」を立ち上げ、2013 年に「Roadmap for the integration of Civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation System」と呼ばれるロードマップを策定している。

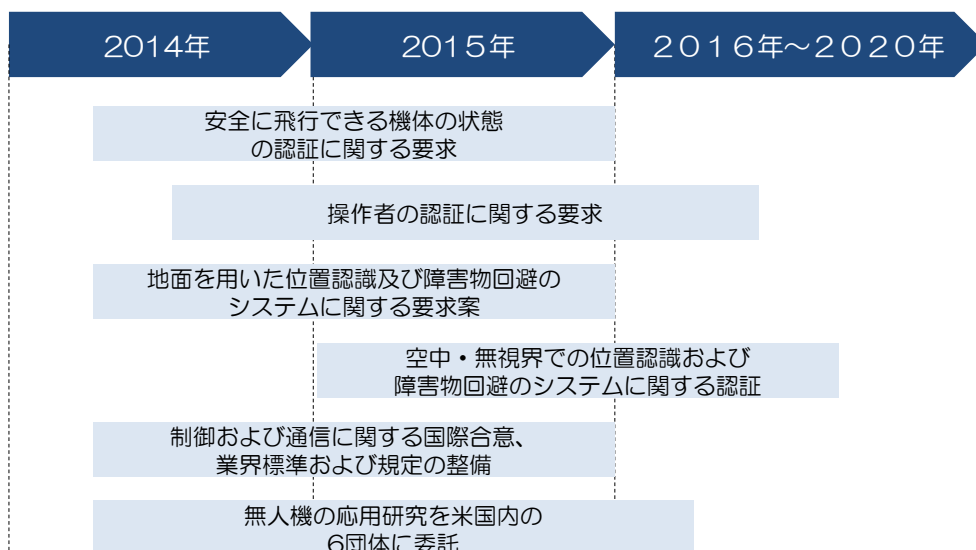


図 1-19 米国 FAA の無人航空機に関するロードマップ

(出所) 日経エレクトロニクス 2014.3.3 号をもとにみずほ情報総研作成

2. ライフスタイル：生活・くらしが変わる

モノのインターネットと呼ばれる IoT の潮流は、住宅や自動車、家具家電といった使用期間の長い耐久消費財から、時計や歯ブラシなどの比較的期間の短い非耐久消費財にまで波及しつつあり、我々の生活のありとあらゆるシーンで適用が期待されている。生活やくらしにおける IoT は「Connected Life」と呼ばれることもあり、生活に纏わる様々なモノがインターネットにつながり活用されることを指す。

本節では、Connected Life の先進事例を紹介するとともに、IoT の発展やその影響について生活・くらしの視点から考察する。

2.1 生活・くらしにおける IoT の広がり

IoT という言葉は、世界中の全てのモノに識別可能なデバイスを埋め込むことを意味するものとして、1999 年に Kevin Ashton により提唱された。当時は IoT を支える技術として RFID (Radio Frequency Identifier) が注目されており、RFID により構築されるセンサネットワークやそれを活用したサービスとして IoT は語られていた。

一方、生活・くらし分野における IoT は、高度に情報化され自動制御される住宅として「Smart House(スマートハウス)」が 1984 年に全米ホームビルダー協会 (NAHB: National Association of House Builders) で提唱⁵⁶されるなど、その歴史は長い。当時はブロードバンドインターネット回線がなく、電話回線を通じたホームオートメーションが構想されていた。その後、2000 年頃から xDSL や光回線 (FTTH)、無線回線によるブロードバンド接続の普及が進み、電話回線での通信が想定されていたスマートハウスがブロードバンド接続を前提としたものへと変化してきた。例えば、高速通信網を想定した大容量データのやり取りやインターネット接続による最新機能へのアップデート等である。また、特に無線回線の整備および低廉化等により、住宅以外の身の回りの多くのモノがインターネットに接続するようになり、様々な人のライフスタイルに影響を与えるようになっている。

2015 年 1 月 5 日に開催された 2015 International CES では、Connected Car に加え、Connected Life が注目分野として取り上げられ、1,000 を超える企業が関連する製品・サービス・コンセプトを展示した。中でも、住宅や住宅に備え付けられた家具・家電を最適制御するスマートハウスや住宅、時計や靴など人が身につけることを想定したウェアラブル端末が注目され、人の生活活動・状態のモニタリングや活動の支援 (操作、視覚) を行う機能が盛んに紹介された。

生活・くらし分野における IoT は、住宅や車などの生活・くらしの基盤から人の行動や活動にまで影響を及ぼすようになっており、従来型のモノを中心とした IoT から人を中心としたコトのインターネット (IoH: Internet of Human) へと広がりつつある。

⁵⁶ R. Harper, "Inside the Smart Home: Ideas, Possibilities and Methods," in Inside the Smart Home, Springer, 2003, pp. 1.

2.2 生活・暮らしにおける先進事例

本節では、人の生活・行動を中心としたコトのインターネットの先進事例を紹介する。生活・暮らしにおける人の基本行動について、社会生活基本調査にならい「1次活動（睡眠、食事）」、「2次活動（家事、育児）」、「3次活動（趣味・娯楽、スポーツ）」に分類し、注目される先進事例を整理した。

(1) 睡眠・食事を変える

睡眠・食事は1次活動と呼ばれ、生理的に必要な活動である。これは人が生存していくために不可欠な活動であり、その質を向上させることに注力されてきている。これまでは睡眠時の周辺環境の整備（例えば上質なベットマットや遮光・遮熱カーテンの利用）による質の向上や、食材の選定や料理法の改善など、アナログな世界での工夫が行われていたが、それが個人に適したものであったかを把握することは困難であった。しかしながら、昨今は、IoTを活用することで、個人に適した方法で1次活動の質を向上させることができることから非常に注目が集まっている。例えば、センサにより個人の睡眠状態を把握し、空調や照明等をその睡眠状況にあわせて最適に制御することで、快適な睡眠・目覚めを実現することが期待される。

以下では、IoTにより、どのように1次活動（睡眠・食事）が変わりつつあるのか、その先進事例を紹介する。

① HEALBE 社「GoBe」

GoBe はリストバンド型のウェアラブル端末である。一般的なリストバンド型ウェアラブル端末がもつ機能（歩数の計測、睡眠状況の計測、心拍数の計測）に加え、「最適な水摂取量の算出」、「食事摂取カロリー及び栄養素の算出」、「ストレスレベルの検出」といった特徴ある機能が搭載されている。

中でも最も注目されている機能が、食事摂取カロリーの算出である。パルスセンサ、インピーダンスセンサ、加速度センサという3つのセンサが内蔵されており、これらのセンサから得られるデータから独自のアルゴリズム（FLOW Technology）により消費カロリーや栄養素を算出することができる。

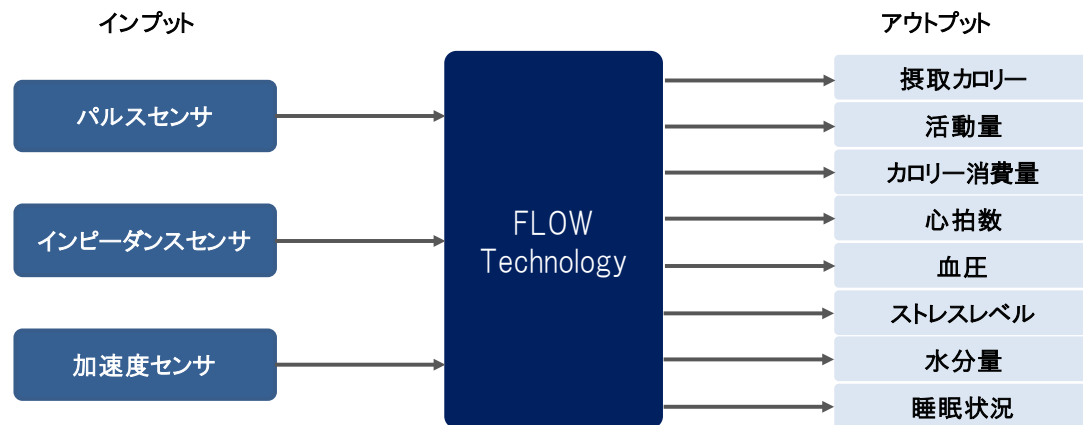


図 2-1 FLOW Technology

(出所) HEALBE ホームページよりみずほ情報総研作成

食事摂取カロリーの詳細な算出方法は明らかにされていないが、HEALBE 社のホームページの FAQ によると、食事を行うことでインスリンが細胞を刺激し、細胞がグルコースを吸収して水分を排出する仕組みを利用しているという。高周波・低周波信号により肌細胞組織の水分量やその変化を検出するインピーダンス（電気抵抗）センサにより、細胞内の水分量を 1 分間に 4 回検出し、細胞内のグルコース濃度を算出する。それをもとに独自のアルゴリズムで摂取カロリーを算出することができるという。ただし、食事後 20 分程度経過しなければ、グルコース量は変化しないため、正確なカロリーを算出するには 1 時間程度要するという。

なお、HEALBE 社によると、GoBe で測定した摂取カロリーの誤差は約 15～20%程度であり、手動で摂取カロリーを積算したり推測したりすることと比較しても優れているとしている。

② Misfit Wearables 社「Bolt」

フィットネストラッカーを販売する Misfit Wearables 社は、生活者の睡眠パターンと同期し、最適な時間に目覚められるよう照明を自動で調整する照明機器「Bolt」を開発・販売している。Bolt は Bluetooth 通信によりスマートフォンと接続することができ、スマートフォンアプリにより Bolt の照明を調整することが可能である。



図 2-2 Misfit Wearable 社の Bolt

(出所) Misfit Wearable ホームページ

Bolt の最大の特長は、Misfit Shine や Misfit Flash などの同社が販売するフィットネストラッカーから取得する活動状態や睡眠状態に関するデータをリアルタイムで取得することができ、それにより自分の睡眠パターンや睡眠状態にあわせて最適な時間に目覚められるよう、照明を自動で調整できる点である。

③ Sleep Number 社「SleepIQ Kids」

SleepIQ Kids は、ベッドマットに内蔵されたセンサで睡眠中の子どもから圧力と動き、呼吸、心拍数を計測し、それらを統合して睡眠 IQ と呼ばれる睡眠の質を表す独自の指標を算出することができる。この指標は、Android や PC から確認することができ、両親は子どもの睡眠状態の良し悪しを把握することができる。



図 2-3 Sleep Number 社の SleepIQ Kids

(出所) 2015 International CES にてみずほ情報総研撮影

SleepIQ Kids は、主に子どもを持つ親を対象とした製品であり、PC やスマートフォンから、「子どもの睡眠状態のモニタリング」、「照明の遠隔操作」、「ベッドの傾斜の調整」を行うことができる。この製品の最大の特徴は、圧力や子どもの動き、呼吸、心拍数を測定し、「睡眠 IQ」を毎朝算出することで、親子でそれを確認しながら睡眠への関心を高める睡眠教育ができることにある。

④ Sevenhugs 社「hugOne」

hugOne は家族全員の睡眠状況を把握する小型のデバイス（minihug）とそれを確認するためのプラットフォーム（hugOne）を提供する製品である。

小型の hugOne をベッド脇に設置することで、振動等から睡眠状況を取得し、WiFi 通信によりベースステーション hugOne に集約される。個々人の睡眠サイクルを把握し、目覚めに最適な時間帯でアラームを鳴らすことができる。さらに、環境センサを搭載しており、室内の空気質を監視し、それが基準値を超えた場合に警告を鳴らすことができる。

また、集約されたデータは、クラウド・コンピューティング上に蓄積され、スマートフォンや PC から参照することができるほか、フィリップス社のスマート電球（Smart Bulbs）と連携した光量の自動制御、Nest 社のサーモスタット（Nest）と連携し、睡眠時の温度の自動制御を行うことができる。

この製品は、睡眠時に身につける必要もなく、また、高価なマットレスやベッドを購入する必要もなく、マットレスカバーの下に minihug を置くだけで自動的に睡眠状況を記録することができる。

(2) 家事・育児を変える

家事・育児は 2 次活動と呼ばれ、社会生活を営む上で義務的な性格をもつ活動である。最近はこの 2 次活動をアウトソースすることで、余暇や自由時間等における活動（3 次活動）にあてる人も増えつつある。

IoT が家事や育児に与える効果は、この 2 次活動の時間短縮およびその質の向上である。つまり、量的拡充と質的改善を両立させることができる。例えば、家事の一部を自動化することで時間を削減する IoT 製品・サービスや人が行う以上に高度な家事・育児を行う IoT 製品・サービスが現れつつある。

以下では、IoT により、どのように 2 次活動（家事・育児）が変わりつつあるのか、その先進事例を紹介する。

① Sereneti 社「Sereneti Kitchen」

Sereneti Kitchen は、スマートフォンで操作することで自動的に調理を行う調理マシンである。スマートフォンアプリに主要な料理メニューが登録されており、メニューを選択すると、必要な具材とその準備方法を確認することができる。必要な材料をマシン上のトレイに乗せ、調理開始ボタンを押すだけで自動的に調理を行うことができる。

マシンの内側上部からモーターで自動制御されるターナー（フライ返し）が設置されており、マシン下部のフライパン上の具材をかき混ぜることで具材の焦げやムラをなくすことができる。マシン内部には具材を乗せるトレイが3段あり、それぞれに料理の具材をセットでき、料理メニュー毎に適切なタイミングでフライパンに投入される。

プリセットされていない料理メニューについては、調理方法の手動設定も可能である。調理温度や具材の投入タイミングなどを細かく登録することでマシンは調理することができる。

② ECOVACS 社「WINBOT」

WINBOT は、窓を自動で掃除するガラスクリーニングロボットである。窓に貼り付けボタンを押すだけで、誰でも簡単に掃除を行うことができる。



図 2-4 ECOVACS 社の WINBOT

（出所）2015 International CES にてみずほ情報総研撮影

WINBOT は、本体中心部に搭載しているサイクシオンリングから空気を吸い込み、真空に近い状態を保つことで窓に吸着し窓から落ちずに掃除ができる仕組みである。

③ Slow Control 社「Baby Glgl」

Baby Glgl は、センサを内蔵したほ乳瓶ホルダーである。ほ乳瓶に内蔵したセンサにより、ほ乳瓶の傾きを検知し、赤ちゃんがどの程度の量のミルクを飲んだかを計測することができる。これにより、日々の赤ちゃんの食事状態を管理できる。

Baby Glgl と連携するスマートフォン・タブレット向けのアプリケーション「Baby glgl」も提供されており、赤ちゃんの食事状態（時間、量）の確認のほか、空気を飲み込んだ際に警告を行うアラーム機能を備えている。

④ BlueMaestro 社「Pacif-i」

Pacif-i は、赤ん坊の体温などを測定するおしゃぶり形態の製品である。Pacif-i を咥えた赤ちゃんの体温と位置をリアルタイムでモニタリングするとともに、あらかじめ投薬スケジュールを登録しておく、スマートフォンに対して投薬を促す通知を行うことができる。

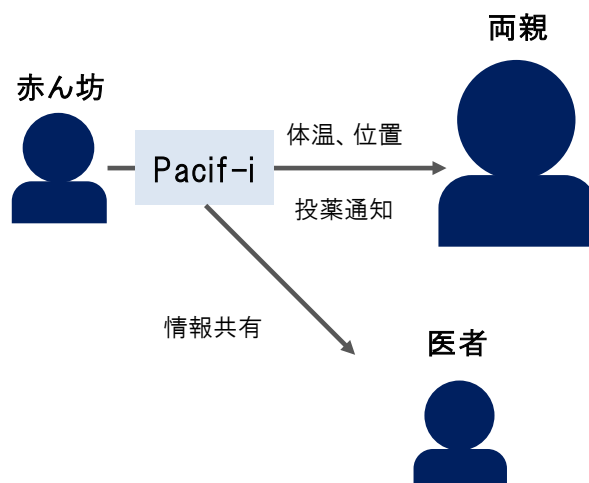


図 2-5 Pacif-i のサービスイメージ

（出所）BlueMaestro 公開情報よりみずほ情報総研作成

Pacif-i の最大の特徴は、取得したデータを医者等と簡単に共有できることにある。

⑤ 博報堂、ユカイ工学「Paby - Parent & Baby Cam」

博報堂の社内公募型インキュベーション・プログラム「DeAL」とユカイ工学が連携し、遠隔で親子がコミュニケーションを取るためのサービス「Paby(Parent & Baby Cam)」が開発されている。



図 2-6 Paby(Parent & Baby Cam)

(出所) Paby ホームページ

Paby では、赤ちゃんのそばにあるモビール（天秤のような飾り物）に設置したカメラを通じて赤ちゃんの様子をモニタリングしたり声をかけたりすることができる。スマートフォンとモビール自体も連携でき、スマートフォン上のアイコンを動かすことで、モビールを動かし、遠隔から赤ちゃんとお遊することもできる。さらに、赤ちゃんの泣き声を取得すると、遠隔の両親にメッセージを自動的に送信する機能も備えている。

(3) 趣味／娯楽・スポーツを変える

① Deeper 社「Deeper」

Deeper はスマートフォンと連携する魚群探知機である。球形をした浮き球状の製品であり、これを水面に浮かべることで、利用者は水面下の魚群の情報をスマートフォン上で確認することができる。



図 2-7 Deeper 社の Deeper

(出所) 2015 International CES にてみずほ情報総研撮影

Deeper は、魚群探知機能の他、水底の構造探索（水底の地形と魚の隠れ家を詳細に観察することができる）や水温のモニタリング等を行うことができる。

② EPSON 社「M-Tracer for Golf」

M-Tracer for Golf はゴルフのクラブに取り付けてスイング時の動作を取得するセンサーモジュールである。Bluetooth によりスマートフォンと接続し、専用のアプリケーションソフトウェアでセンサーモジュールからのデータを受け取り、解析することができる。スイングの回転面や各段階での筋肉の状態、ゴルフボールとヘッドのインパクト角度などを提示することができる。

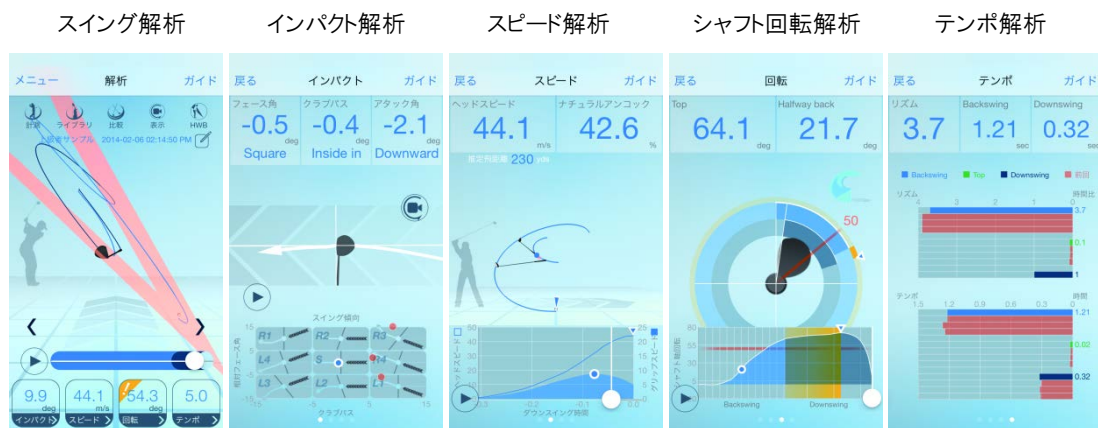


図 2-8 M-Tracer For Golf の機能

(出所) エプソン社提供資料

③ Adidas 社「adidas Smart Ball」

adidas Smart Ball は複数のセンサを内蔵したサッカーボールである。ボールの自速（スピード）や回転、軌道、打点などを自動的に記録することができる。これらのデータは、Bluetooth 通信によりスマートフォン等の端末に送信することができる。

④ Edyn「Garden Sensor」、「Water Valve」

Garden Sensor は、家庭菜園の管理をスマート化する製品である。土壌に関する情報を複数のセンサから取得・モニタリングする装置であり、同社のスクリーンプレー「Water Valve」と連携することで、土壌環境に適した最適な水やりを自動的に実施することができる。

具体的には、Garden Sensor は、気温や湿度、電気伝導度などを計測するセンサを内蔵し、空気中の水分量、土中の水分量、土中の養分、光量、気温の 5 種類のデータをリアルタイムで検知する。また、同社が提供するスマートフォンアプリでは、これらのデータに基づき、水やりのアラートや栽培環境の提案等を行う。

2.3 ライフスタイル分野における IoT 活用の展望、課題

IoT は人の生活や行動を便利にする一方で、様々な課題が萌芽しつつある。以下では、ライフスタイル分野における IoT 活用の展望と、想定される主要な課題について説明する。

(1) ライフスタイル分野における IoT 活用への期待

これまでに紹介した事例をみると、IoT の進展により生活・くらしは豊かになることは間違いない。ここでは、IoT の進展が生活・くらしにどのような価値を与えるかを考察する。

IoT が普及することで、最も変化するものが、人々の生活・行動にかかる時間であると考えられる。先の事例でも紹介してきたように、社会生活上やむを得ず時間をかけていた 2 次活動（家事・育児）が、IoT によりその時間が削減される。例えば、家事・育児・介護等の一部活動が自動化されることにより「社会生活を営む上で義務的な性格の強い活動」の一部について、その量（時間）が削減されると期待される。その結果、趣味や余暇等の 3 次活動、または睡眠等に時間をかけることができるようになる。

そのほかに、生活自体の質の向上が期待される。例えば、睡眠中の部屋の温度や騒音、アレルギーのもとになる微粒子の浮遊状況等を監視し、より良い眠りを実現するサービス、食事の量やカロリー、栄養素等を取得・管理し、最適な食事（料理）を提案するサービス等、「生理的に必要な活動（1 次活動）」の質が向上するであろう。

IoT が人の日常生活に浸透・普及することにより、個人のライフスタイル（日常的な行動）は、量・質ともに大きく変革すると期待される。

(2) ライフスタイル分野における IoT 活用に関する課題

① プライバシーの確保

IoT は人の生活や行動を便利にする一方、従来は取得していなかった詳細な個人の生活や行動を取得・把握することになる。また、現状は一つの製品・サービスには少数の機能しか搭載されず、IoT の恩恵を生活・行動の中で受けるためには複数の製品やサービスを利用することになり、個人がすべての製品・サービスにおけるプライバシー管理等の状況を把握することが難しくなる。IoT 時代の情報セキュリティ展望・課題については、第 5 節を参照されたい。

② さり気なく身近にあること

生活分野での IoT 進展の鍵を握るのが、IoT 機器がさり気なく身近に存在することである。ここで、さり気なくという意味は、利用者が機器の利用を意識せずに生活に自然と浸透していることを指す。以下では、2 つの観点を示す。

1 つは、現状の IoT 機器は生活を便利で快適にする側面もあるが、煩わしい入力や作

業が伴うことが多い点である。その代表例がバッテリーである。本節で紹介した事例の多くはバッテリー（電池）を内蔵したコードレスな製品であり、多くの製品では充電や交換の頻度が多い傾向にある。バッテリー容量は、機器の小型化とトレードオフの関係にあることも影響している。先進的な研究開発により低消費電力化が進められているが、人やモノの状態をリアルタイムにセンシングしたり制御したりするため、継続利用時間には限界がある。また、現在のバッテリーでは、利用すればするほど電池寿命は短くなる。その結果、高頻度に充電が必要な製品・サービスを購入した消費者は、日にちが経過するとともに使用率が下がる傾向にある。このように、製品を継続して利用するためには、低消費電力化に加え、バッテリーの大容量化が不可欠である。また、遠隔での充電や人の運動や行動のエネルギーを活用した充電等、普段の生活や行動を妨げない方法なども考えられる。

もう1つは、生活の中で違和感や不快感を与えないことである。例えば、ベッドマット型のIoT端末の場合、利用者にとって、そのベッドマットそのものが快適でなければ不快に感じてしまう。また、ウェアラブル端末であれば、普段の睡眠時に時計等を身につけない習慣の利用者であれば、ふとした瞬間に違和感を抱いてしまうであろう。また、住環境での利用を想定したIoT機器の場合は、部屋のデザインやレイアウトにマッチする製品かどうか、居心地の悪くなる（例えば風通しを阻害する等）もので無いことが重要である。このように、生活の中で違和感や不快感を与えないということは重要な観点の一つである。

③ 製品間の情報連携

複数のIoT製品・サービスを利用すると、情報がそれぞれ分散してしまい、製品・サービスごとに切り離されて動作するという課題が生じている。これらの情報を統合し、統合的に稼働することが重要となる。このような目的のプラットフォーム製品も現れつつあるが、製品・サービス間の垣根を取り去り、複数の製品・サービス間で同じ情報を扱えるようにする仕組みの確立が急がれる。

3. 産業：ものづくり・バリューチェーンが変わる

本節では、ものづくり分野における情報通信技術の浸透と、それに伴う将来の新しい産業のあり方を念頭に置きつつ、近年急速に注目を集めつつある IoT の活用に着目する。具体的には、ものづくり現場を変える先進的な IoT の活用事例、バリューチェーンの捉え方を変える IoT の活用事例等を概観しながら、今後の産業に与えるインパクトを検討する。

なお IoT は、従来のようなコンピュータ等の情報通信機器だけでなく、世の中に存在する様々なモノに通信機能やセンシング機能を付与し、モノの自動認識、遠隔計測、自動制御等を行うことを指す。本稿では、この IoT に加えて、より広い概念である IoE⁵⁷ (Internet of Everything) についても触れることとする。

3.1 情報通信技術を起点とした新しいものづくりの潮流

近年、ものづくり分野では、進展著しい情報通信技術を機軸として、新たな試みが広がりつつある。それらの試みの中から、従来のものづくりにはない、新しい付加価値が創出されはじめている。

そのひとつの流れとして、資本集約型の大量生産を志向する大手製造事業者によるものづくりだけではなく、多様な消費者のニーズに即した少量・中量多品種を製造する中小製造事業者やものづくりベンチャー、そしてメーカーズ⁵⁸等によるものづくり等、ものづくりの新しい姿が現れ始めている。

その典型事例のひとつとして、米国アリゾナ州にある Local Motors の活動は参考となる。同社は、2007 年に創業された新しい企業であり、従来の自動車会社での自動車製造とは全く異なる形で、自動車を製造・販売するベンチャー企業である。

その特徴として、同社では自動車の開発エンジニアやデザイナー、自動車ファンが集うインターネットコミュニティを形成し、そのコミュニティに参加する皆で協力しながら自動車を製造して行く点が挙げられる。そして、基本的に在庫を所有しない。自動車の買い手が製造予約を行い、頭金を支払った段階ではじめて、自動車製造に必要な部品が買い付けられ、自動車の製造がスタートするのである。

この Local Motors の自動車製造・販売の仕組みは、従来の資本集約型の自動車会社とは全く異なるものである。この新しい自動車製造・販売は、インターネットをはじめとした情報通信技術を活用するからこそ実現できる、新しいものづくりの形である。

⁵⁷ 米国大手 IT 企業であるシスコシステムズが提唱する考え方であり、単に“モノ”がつながるだけではなく、日常生活に関わる“すべて”がつながるとの意味で IoE (Internet of Everything) と呼んでいる。

⁵⁸ メーカーズとは、3D プリンタ等の登場によって使われるようになった言葉であり、モノづくり活動等に積極的に関わる個人を指す。

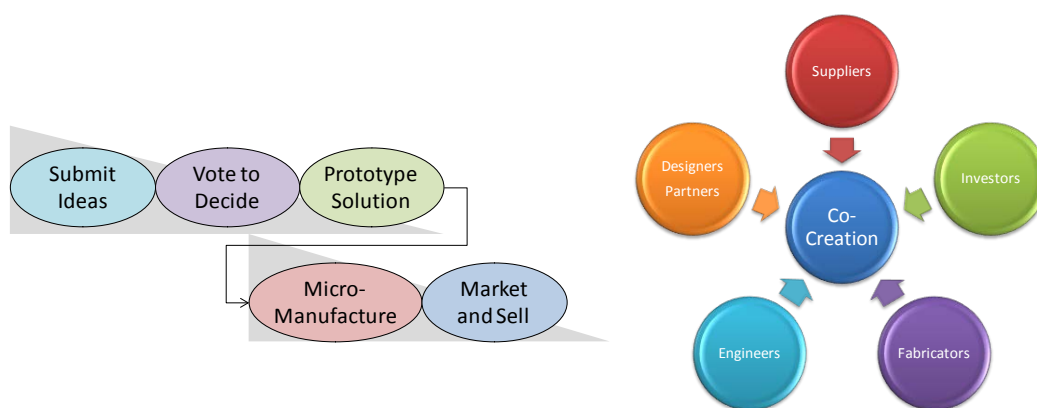


図 3-1 Local Motors のものづくりプロセス（左図）、ものづくり関係者（右図）

（出所）Local Motors の Web サイトより みずほ情報総研作成

上記の事例のように、中小製造事業者やベンチャー企業、そしてメーカーズ等によるものづくりが広がる一方、また別の新たな流れも見出せる。従来からある資本集約型の大量生産を志向するものづくりの変化である。

資本集約型の大量生産を志向するものづくりの現場に着目してみると、モノのインターネット（Internet of Things）と呼ばれる情報通信技術を取り込んだ、新たな取組が急速に進められているのである。そして、ものづくりの現場では、IoT の活用が今後の大きなトレンドとなると見込まれている。

例えば、ドイツでは国を挙げて「インダストリー4.0」なる考え方を提示している。工業のデジタル化により、製造業の様相を根本的に変え、製造コストを大幅に削減することを目指している。具体的には、生産工程のデジタル化・自動化・バーチャル化のレベルを現在よりも大幅に高め、それにより製造に係るコストを極小化することを目指している。

また一方で、米国ではゼネラルエレクトリック（GE）が2012年11月に「インダストリアル・インターネット」なる概念を発表している。航空機や電車、ガスタービンなどの産業機器の運行や部品の状態などをインターネットを介して総合管理する概念である。

上記の「インダストリー4.0」及び「インダストリアル・インターネット」の概念はともに、IoTを活用した将来のものづくりの姿を示す新しい考え方である。そして、IoTは従来、モノとモノを直接インターネットでつなぐ技術を指した言葉であったが、最近では、「新しい製品・サービスのパラダイム」等にまで拡張したコンセプトになりつつある。

以下では、上記のIoTを活用したものづくりに関わる新たな試みを中心に、先進的な事例等を概観していく。

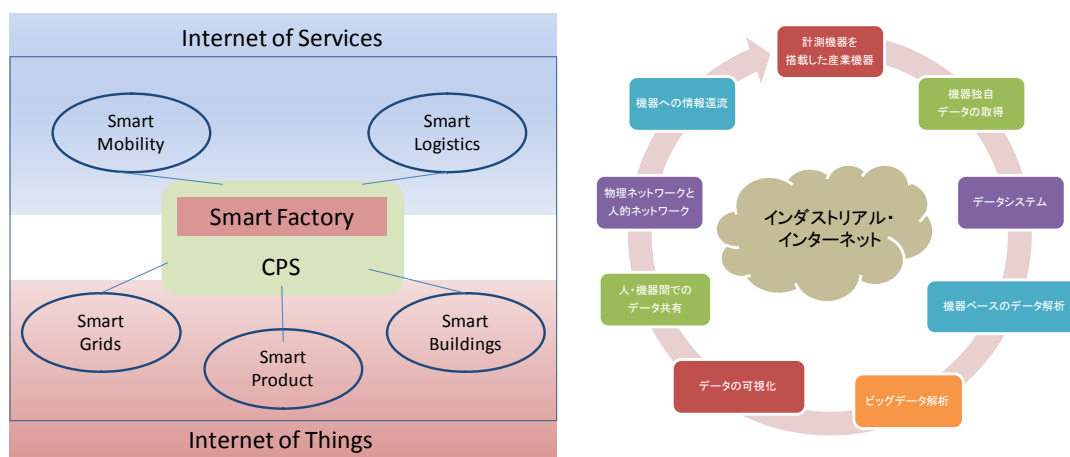


図 3-2 インダストリー4.0 概要（左図）、インダストリアル・インターネット概要（右図）

（出所）Final report of the Industrie 4.0 Working Group, "Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0", April 2013, 日本 GE Web サイトより、みずほ情報総研作成

3.2 ものづくりの現場を変える IoT

ものづくりの現場に導入される IoT により、現場にあるモノや設備等がネットに接続され、工場内の様々な情報がネット上に集約されるようになっている。これら情報を組み合わせ活用することで、現在、ものづくりの現場が変わりつつある。

あえてその特徴を大まかに分類しただけでも「①人の作業を省力化する」、「②生産設備の故障や不具合等を把握・予測する」、「③生産状況を判断し設備等を制御する」等、現場の取組の効率化や高度化に IoT が役立てられている事例も出始めている。

以下では、上記の①～③の括りで事例を概観する。

(1) 人の作業を省力化する

～事例：工場見える化を通じた製造ラインの管理や改善活動の省力化～

今後の我が国では、労働者の高齢化、急速な人口減少が見込まれている。その状況の中では、ものづくり現場での労働者不足への対応も大きな課題となると考えられる。またそれとともに、ものづくり分野での新興国の台頭など、グローバルな競争が激化する現状および今後においては、更なる生産コストの削減等への対応も我が国製造業の課題となっている。

上記のような我が国のものづくり現場の状況を鑑みると、現場の作業の省力化を進める取組が強く求められることは自然な流れであろう。現場作業の省力化への対応としては、既に技術的にも様々な取組が進められている。その中で IoT の観点でも、現場の作業の省力化に役立つ事例も生まれつつある。

例えば、森永製菓株式会社の生産子会社である高崎森永株式会社では、全生産ラインの状態把握、トラブル発生時の速やかな対応を図るために工場見える化システムを導入

入している。

この高崎森永株式会社の工場の見える化システムの特徴は、同社工場内の全製造ラインの工程ごとに、合計 81 台のネットワークカメラを設置していることである。このカメラで撮影された映像と製造設備に搭載したセンサ等から取得されるデータを、工場に隣接された製造管理室に集約し、常駐するライン責任者が複数のライン状況を詳細に把握できる仕組みである。万が一、製造ラインにトラブルが発生した際に、ライン責任者は製造管理室で迅速に状況を把握することができ、現場の作業者に指示を伝達できる。

従来は、製造ラインのトラブル発生時の迅速な対応や、製造ラインの日々の改善活動のために、現場リーダーを各ラインに常駐させる必要があった。しかし、この仕組みの導入により、製造管理室から複数の製造現場の状況をリアルタイムに把握でき、現場リーダーの作業の省力化が可能となっている。

～事例：製造ラインの把握や生産性改善に役立つ IoT～

生産性改善、製品品質向上を目指し工場への IoT 導入を試みている取組がある。富士通株式会社では、2014 年 4 月～9 月の間にオムロン株式会社草津工場において、ものづくりビッグデータ分析の実証実験を行っている。

■製造ライン

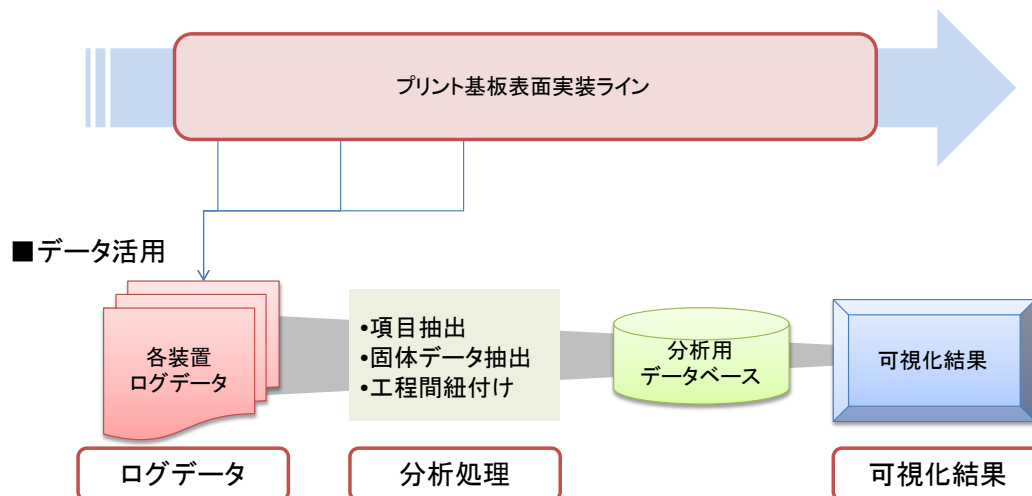


図 3-3 工場でのものづくりビッグデータ分析の実証実験の概要

（出所）富士通株式会社 PRESS RELEASE（2014 年 4 月 22 日）より、みずほ情報総研作成

同社はオムロン株式会社草津工場のプリント基板表面実装ラインにおいて、品質向上、および生産性改善に役立てる取組を行っている。プリント基板ラインのログを収集し、個体ごとに生産実績の可視化を行い、製造ラインの改善を検証している。

実証実験では同仕組みを導入したことにより、一目で製造ラインの動きが把握でき、

改善ポイントの把握が容易になっている。その結果、改善ポイントを把握する時間を 1/6 に削減できたとしている。

今後は、本実証実験から得られたノウハウを元に、同社ではリアルタイムで異常を検知してラインを制御する仕組みを検討していくとしている。

(2) 生産設備の故障や不具合等を把握・予測する

従来、生産設備の故障や不具合が発生した場合、不良品が大量に発生することや、生産ラインを止めざるを得ないことなど、工場の生産効率低下につながる事象も多々発生していた。そのため、生産設備の故障や不具合を大事に至る前に発見し、迅速に対応することが大きな課題となっている。

～事例：不良品が発生した際の製造条件等を分析して原因を特定～

近年、工場にある生産設備がネットに接続され、生産設備の状況に関わる各種情報が取得できる環境が整いつつある。その情報を活用することで、設備の故障や不具合等に対して事前の対応（修理・取替え等）が可能となっている。故障によるシステムの停止時間や、故障に伴う被害、また大量の不良品の発生等が抑制できれば、社会的にも大きなメリットがもたらされる。

IoT を活用して上記のような取組を実践している事例として、コンタクトレンズ製造大手である株式会社シードの事例が挙げられる。

同社では、2013 年に鴻巣研究所に月産 1,000 万枚の生産能力向上が可能な規模を有する新棟（2 号棟）を建設し、既存設備と合わせて生産能力月産 2,500 万枚体制を構築している。同新棟では、製造現場の各設備に IoT の仕組みを導入しており、主要設備の稼働状況をリアルタイムに管理することが可能となっている。

具体的には、各製造設備の稼働情報（例えば、製造したレンズ 1 枚ごとの度数や使用期限、加工に利用した金型などの製造時の条件、不良の有無など）は専用サーバーに蓄積され、タブレット PC および無線 LAN を利用することで、工場内のどこからでも確認することができる。また、製造時に発生する大量の測定データを収集、分析することが可能であり、品質向上とコスト削減の取組に役立てられる環境が整っている。

実際に、コンタクトレンズの不良品が発生した際には、当該不良品の製造条件等を分析することで、不良品発生の原因となった設備等を素早く特定することが可能となっている。同社では、このような取組を繰り返し、不良品を減らし、また設備の不具合等を素早く修正することで、大きな製造コスト削減につなげていくとしている。

(3) 生産状況を判断し設備等を制御する

工場の生産設備等をネットに接続することで、工場での生産に必要な様々なモノを制御することも可能となっている。例えば工場では、モノの生産に多くの電力を使用する。そのため工場の省エネ化は製造コスト削減のための大きな課題である。製造物の生産に対する最適なエネルギー使用を実現するために、様々な設備の稼働を制御する仕組みが検討されている。

～事例：エネルギー設備の最適運用に向けた稼働状況の把握と制御～

上記の具体的な取組事例として、経済産業省が主導する次世代エネルギー・社会システム実証事業が挙げられる。同事業の横浜スマートシティプロジェクトの中では、住友電気工業株式会社 横浜製作所が工場の操業に合わせて、複数のエネルギー設備からの電力供給を最適化する FEMS⁵⁹（工場エネルギー・マネジメントシステム）を開発し実証実験を行っている。

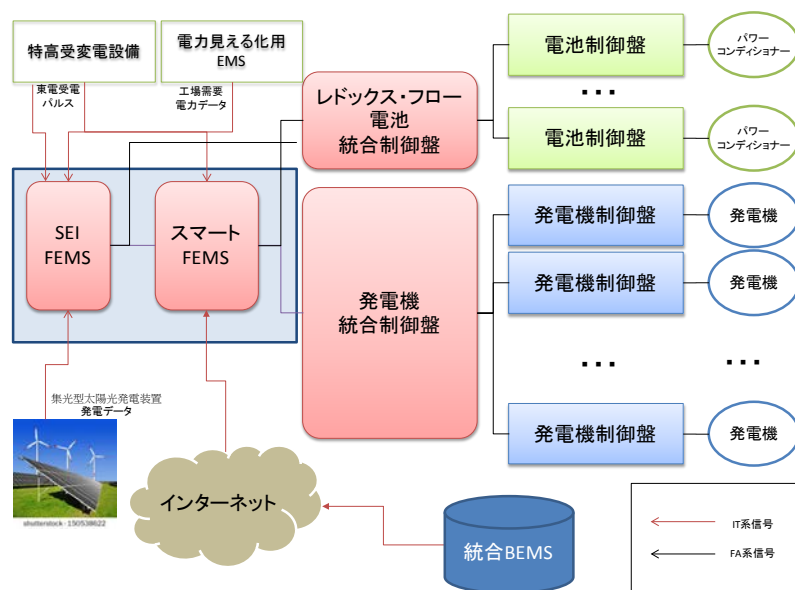


図 3-4 スマート FEMS 関連機器及び創畜エネルギー設備

（出所）経済産業省「次世代エネルギー・社会システム実証事業成果報告 平成 25 年度報告資料」より、みずほ情報総研作成

同製作所はガスコージェネレーションシステムを 6 基と集光型太陽光発電システムという 2 つの発電設備を備え、さらに蓄電容量で 5,000kWh の大型蓄電池を設置している。

これら 3 つのエネルギー設備に系統電力を加えたシステム全体の最適な運用を司るた

⁵⁹ 従来から行われてきた受配電設備のエネルギー管理に加えて、工場における生産設備のエネルギー使用状況・稼働状況などを把握し、エネルギー使用の合理化および工場内設備・機器のトータルライフサイクル管理の最適化を図るための情報システムのこと。

めに、同社は株式会社明電舎と共同して FEMS を開発している。同社の FEMS は、横浜製作所内の工場や事務所の負荷、ガスコージェネ発電機、太陽光発電、蓄電池の状況を把握し、系統からの受電、コージェネの稼働、蓄電池による蓄電や放電を目的に応じてリアルタイムで最適に制御している。

— 様々な産業で進む IoT を活用した取組（１） —

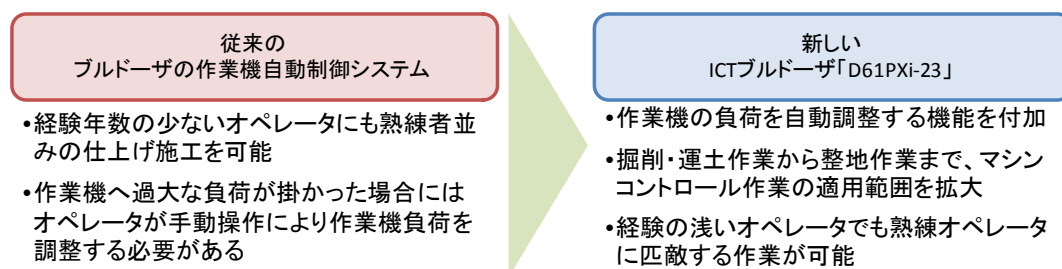
【建設現場での IoT を活用した建機の自動制御】

株式会社小松製作所では、全自動ブレード制御機能搭載の中型 ICT ブルドーザを市場導入している。株式会社トプコンと共同開発した、全自動ブレード制御機能を搭載した中型 ICT ブルドーザ「D61EXi/PXi-23」である。

D61EXi/PXi-23 は、従来の情報化施工でも可能であった整地の仕上げ作業時だけではなく、掘削作業時を含む全てのブレードコントロールを自動化した全自動ブレード制御機能を搭載しており、作業効率の大幅な向上を実現している。

従来、GNSS 測量技術を利用したブルドーザの作業機自動制御システムは、経験年数の少ないオペレータにも熟練者並みの仕上げ施工を可能とすることで、施工全体の効率を大幅に改善してきた。しかしながら、作業機へ過大な負荷が掛かった場合にはオペレータが手動操作により作業機負荷を調整する必要があった。そのため、作業機の自動制御は整地などの軽負荷作業にのみ適用可能であった。

この ICT ブルドーザ「D61PXi-23」では、車体コンポーネント制御技術と GNSS 測量技術を融合させ、従来のマシンコントロールブルドーザに対し、作業機の負荷を自動調整する機能を付加している。それにより掘削・運土作業から整地作業まで、マシンコントロール作業の適用範囲を拡大している。



図：新しい中型 ICT ブルドーザの特徴

（出所）みずほ情報総研作成

上記の作業機の自動制御システムの支援により、これまでブルドーザの運転には高い技術が必要とされていたが、経験の浅いオペレータでも熟練オペレータに匹敵する作業が可能となった。定型モデル作業試験の比較データでは、動かした土量当たりの所要時間で、従来を 1 として 0.87 となり、10% 近くの効率化が実現している。

— 様々な産業で進む IoT を活用した取組（２） —

【IoT を活用した酒造好適米の栽培技術の見える化】

旭酒造株式会社と富士通株式会社は、旭酒造が製造・販売する日本酒「獺祭（だっさい）」の原料となる酒造好適米「山田錦」の生産量の増加と安定的な調達のために、新たな取組みを開始している。

「山田錦」の栽培作業実績と生産コストの見える化を目的として、2014 年 4 月から山口県内の「山田錦」を生産する農家に対し、農業生産管理 SaaS およびマルチセンシングネットワークを導入している。この取組では、山田錦の栽培に関わる全てのデータをクラウドに蓄積し、生産者同士でデータを共有することをねらいとしている。蓄積する主なデータは、生産者が日々の作業内容を記録する「作業実績情報」、その日の気象や土壌の状況を記録する「環境情報」等である。

蓄積データ	データ概要	記録方法
作業実績情報	生産者の日々の作業内容（いつ、どの圃場で、どのような作業を行ったか等）、使用した農薬・肥料・資材、草丈・茎数等の稲の生育状況、収穫時の収穫量・品質	パソコンやタブレット端末等により記録
環境情報	その日の気象や土壌の状況（気温・湿度・土壌温度・土壌水分・EC（電気伝導度））	圃場に設置したセンサにより、1 時間ごとに自動で収集・記録

図：取得・記録する作業実績情報や環境情報の概要

作業実績情報については、日々の作業実績（いつ、どの圃場で、どのような作業を行ったか）、使用した農薬・肥料・資材、草丈・茎数などの稲の生育状況、収穫時の収穫量・品質等をパソコンやタブレット端末等により記録する。環境情報については、圃場にセンサを設置し、気温・湿度・土壌温度・土壌水分・EC（電気伝導度）を 1 時間ごとに自動で収集し記録する。また、定点カメラにより、毎日正午に生育の様子を撮影する。

これら収集した各種データを分析し、地域ごとの特性に合わせた栽培手順書「栽培暦」をクラウドを通じて生産者に提供する予定である。

3.3 バリューチェーンを変える IoT

前節で紹介した、ものづくり現場での IoT を活用した取組は、現場を変え、作業の効率化等を実現するものである。一方、ものづくりに関わる様々な活動をバリューチェーンの視点で見ると、IoT の活用は、ものづくりの現場そのものの効率化の手段となるだけではなく、バリューチェーンの各段階を超えた新しいビジネスの仕組み作りにも活用可能である。

さらに、バリューチェーンを超えた情報共有のために IoT の活用や、モノの情報を扱うことだけではなく、人・プロセス・データ等までもネットに接続する IoE と呼ばれる仕組み等を活用することで、バリューチェーンにおける複数の段階をつなぎ、ビジネスの幅と質を高める仕組みが生まれつつある。

以下では、上記に関わる事例を概観する。

(1) 製品製造に加え、モノを活用したサービスまでも提供する製造事業者

IoT の活用により、モノを製造し販売するという従来の製造業の枠組みを超えて、モノを活用したサービスまでも併せて提供する取組事例が生まれている。

～事例：照明器具の製造・販売から「光をサービスとして提供する」ビジネスへ～

オランダの大手メーカーであるフィリップスが手がける「Lighting as a Service (LaaS)」という取組がある。同社では、単に LED 照明を販売するのではなく「光をサービスとして提供する」として、LED 照明のインテリジェントコントロールおよび保守をサービスとして提供している。この LaaS により賢く照明を管理することで、電力コストや二酸化炭素排出量を削減し、また照明の新しいユースケースを生み出すことができると見込まれている。

実際に、同社は 2014 年 3 月からの 10 年契約として、米国のワシントン DC の交通局から駐車場の照明の入れ替え案件を受注している。駐車場にある 1 万 3,000 以上ある照明器具を LED に交換するとともに、それらをアダプティブにコントロールして、光をサービスとして提供している。それにより、省エネ効果として、68%の電力削減が予定されている。

この事例でのポイントは、照明およびセンサをネットに接続することで、遠隔地から照明器具の状況、日照時間や駐車場の明るさ、駐車場使用の有無、LED の稼働時間、温度等の環境条件をデータとして収集し、時々々の条件に応じて照明のオン／オフおよび明るさをダイナミックに制御することにある。さらに、蓄積した照明の稼働時間や環境条件の情報から機器の寿命を予測し、予防保守や素早い修理につなげることができることもポイントである。

このようにフィリップスでは、従来の照明器具を製造・販売するというビジネスから、製造した照明器具と IoT を活用して、「光をサービスとして提供する」というビジネスに

まで、自社の事業領域を拡張させている。つまり、バリューチェーンの視点では、「製造」段階から「販売サービス」の段階まで事業領域を拡張させているのである。

～事例：タイヤの製造・販売に加えて、販売後の適切なアフターフォロー～

また別の事例として、製造したモノを販売するだけでなく、販売後も顧客の製品使用状況を把握しつつ、適切なサービスを顧客に提供する取組を紹介する。

株式会社ブリヂストンでは、建設・鉱山事業者向けに顧客の課題解決を支援するタイヤ空気圧・温度管理システム「B-TAG (Bridgestone Intelligent Tag)」を提供している。この「B-TAG」は、IoT を活用して、運行中の建設・鉱山車両用タイヤの空気圧・温度を計測し、リアルタイムに車両の運転手や運行管理者に対して、その情報を送信するシステムである。

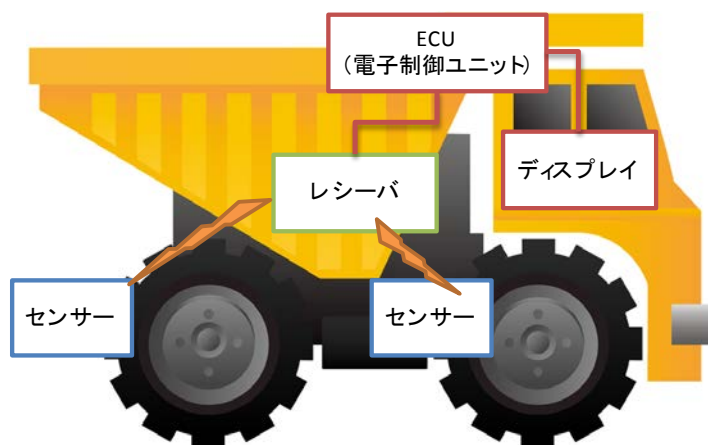


図 3-5 車両に装着された B-TAG システムのイメージ図

(出所) ブリヂストンの Web サイトを参考に、みずほ情報総研作成

このシステムの活用により、同社は鉱山でオペレーションを行う顧客に対して、より安全かつ経済的な車両運行環境を提供している。

安全面では、タイヤの空気圧や温度に関する情報を同社でリアルタイムに把握し、顧客に伝えるとともに、さらに異常な空気圧・温度が検知された際にはアラームを通知する。それにより、タイヤの故障を未然に防止できるなど、安全に運行できる環境を顧客に提供している。

またコスト面では、顧客が使用するタイヤの空気圧や温度の情報を迅速に同社が取得することで、タイヤトラブルを事前に予測し、顧客に対してトラブル等を回避するための情報提供等が行える。それらの取組を通じて、顧客車両で消費するタイヤの本数が減り、顧客の事業のコスト削減につながるなど、同社が顧客に提供可能な付加価値が増大する。

また、「B-TAG」を通じて顧客車両の稼働状況等がデータとして取得可能となるため、顧客の状況を十分に把握することができる。そのため、顧客に合わせたソリューションとして、「タイヤ補修リペアサービス」も提供可能となっている。

(2) バリューチェーンの上流において IoT や IoE を活用する製造事業者

上記の2つの事例は、バリューチェーンの下流側へ向けた製造事業者のIoT活用事例である。それに対して次に紹介する事例は、バリューチェーンの上流側へ向けたIoTやIoEを活用した製造事業者の取組である。

～事例：情報通信技術を活用し生産設備保有者と製造依頼者をつなぐ～

情報通信技術を活用して、単にモノを製造するのではなく、企業が抱える生産設備を有効に活用するための仕組みを提供している事例がある。

株式会社カブク⁶⁰は、ものづくりマーケットプレイス「rinkak」を運営するベンチャー企業である。rinkakは、3Dプリンタなどのデジタル製造技術を利用したものづくりのマーケットプレイスであり、クリエイターが3Dデータを当該サイトにアップロードするだけで製品の製造販売が可能になるサービスである。

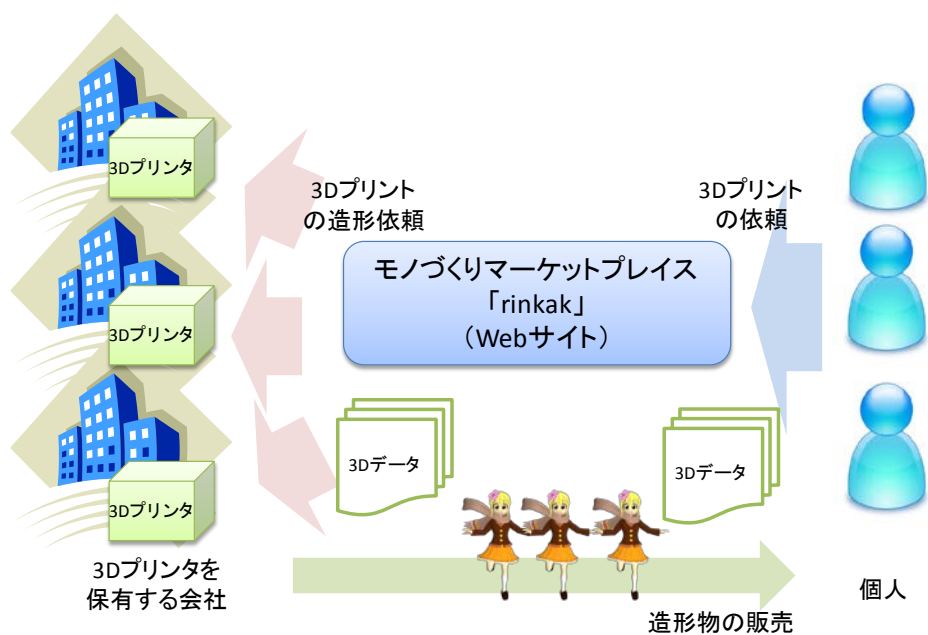


図 3-6 カブクの3Dプリント製造のパートナープログラムの全体イメージ

(出所) みずほ情報総研作成

同社は、3Dプリンタを保有する企業に向けたrinkak経由の3Dプリント製造パートナ

⁶⁰ 第6節にカブク稲田氏のインタビューを掲載した。

ープログラムを立ち上げている。3D プリンタによるプロダクト製造を同社が委託する企業を国内外から広く募集する取組である。そして、企業がこのプログラムに参加すれば、カブクから 3D プリンタを使った製品製造を簡単に受注でき、企業は自社が保有する 3D プリンタの遊休時間を利用した製造受注が可能となる。

なお、製造代金は、カブクから委託された製品を製造した分だけ rinkak からを支払われる仕組みであり、見積もりや製造、発送、請求の管理は rinkak が引き受け、余計な手間を省ける。

同プログラムに参加するために特殊なソフトウェアは不要であり、Web ブラウザを使用して rinkak からの製造依頼を受けることができる。参加企業は、保有する 3D プリンタの遊休時間を利用するなどし、自社で保有する 3D プリンタの稼働率を上げ、収益率向上につなげられる。

上記の事例のポイントは、3D プリンタという生産設備を保有する企業の設備稼働率向上という課題と、3D プリンタによりモノを製造したいという依頼者とを情報通信技術でつなぐ点にある。特に、生産設備を保有する企業が、設備の遊休時間を活用できるといった柔軟性のある仕組みを情報通信技術により構築したところに独自性がある。

～事例：製品の販売にかかる情報を IoT を活用して取得し商品開発に役立てる～

さらに、製品の販売にかかる情報を IoT を活用して取得し、商品開発に役立てている事例もある。例えば、株式会社 JR 東日本ウォータービジネスが行うエキナカ飲料自販機「アキュア (acure)」を中心とした事業強化の取組が挙げられる。

同社が設置する自動販売機からは年間 2 億決済分の購入データが得られる。そのデータと営業担当者の持つ経験・知識・問題意識に基づき、仮説の構築及び検証を繰り返しながら、商品開発・新たな需要の掘り起こし・品揃え等に取り組み、売上拡大につなげている。

例えば、女性に向けた「持ち歩き飲料」の開発が成功例としてある。午後の時間帯の需要の開拓を狙い、POS データを分析することで「小容量ペットボトル商品は午後に女性・中高年の方が多く購入される」ことが分かった。そして、その知見から「女性や中高年の方が午後の電車移動中に喉が渴いた時、500ml では飲みきれない、また持ち歩くには重たいため、ミニボトルを購入する」という仮説を構築した上で、同社では実際に春夏の商品戦略として、小容量ペットボトル商品を「持ち歩き飲料」として積極的に採用した。その結果、売上の底上げにつながった例である。

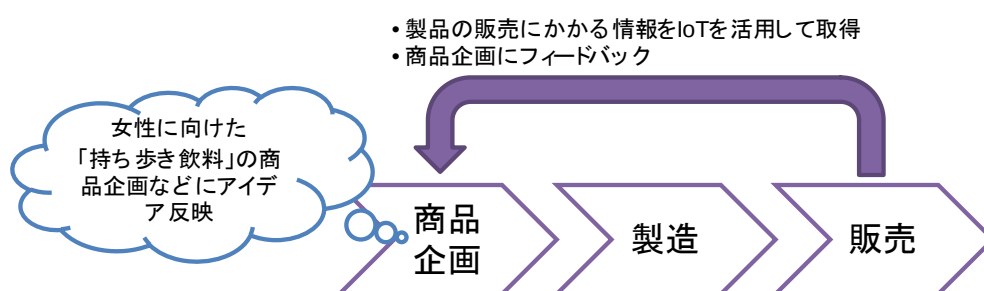


図 3-7 IoT を活用した製品販売にかかる情報取得と商品開へのアイデア反映

(出所) みずほ情報総研作成

また、From AQUA の落ちないキャップの開発事例もある。ミネラルウォーターFrom AQUA のリニューアルに向けて、既存商品の POS データからエキナカでの購買シーンを分析する中で、「電車乗車前に購入している人が多い」との仮説を構築した。そして、実際に移動中に便利な「落ちないキャップ」を採用した新しい From AQUA をリニューアル発売し、売上増加につながった例である。

上記までに紹介した 4 つの事例は、バリューチェーンの「企画」⇒「設計」⇒「生産」⇒「販売」⇒「アフターフォロー」といった各段階の中で、IoT や IoE の活用を通じて、製造事業者が「生産」段階の前後の段階にまで自社の取組みを広げ、製造事業者のビジネスのあり方を変えつつある事例とも読み取れる。

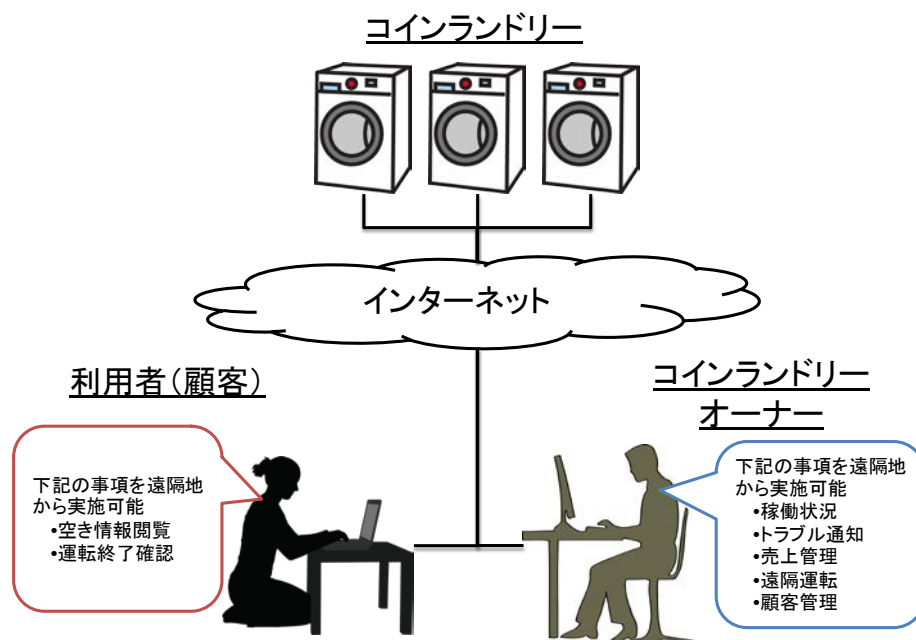
これらの事例のような取組は、まだ先進的な製造事業者において単発的に試みが始まった段階のものである。今後この様な取組が多様な製造事業者に広がっていけば、製品・サービスを顧客まで届けるための流れであるバリューチェーンの捉え方を、大きく変える可能性を秘めている。そして、IoT や IoE はそのためのキーテクノロジーとなるとも想定される。

— 様々な産業で進む IoT や IoE を活用した取組（3） —

【IoT を活用したコインランドリーシステムによる顧客の経営支援】

「AQUA（アクア）」ブランドの白物家電を販売するハイアールアクアセールスは、2013 年 1 月からコインランドリーを展開する顧客企業の営業活動を支援する取組みに力を入れている。例えば、店舗での販売実績や稼働率のデータを集計し、その結果を顧客に提供する取組である。

同社が提供する「IC+IT ランドリーシステム」は、インターネット接続機能を備えたコインランドリーシステムである。同システムは、ネット経由で店舗に設置した洗濯機の稼働率や売り上げ状況を集計・分析することや、洗濯機にトラブルが発生した際に遠隔地から制御すること等が可能である。



図：IC+IT ランドリーシステムの概要

（出所）ハイアールアクアセールス株式会社の Web サイトを参考にみずほ情報総研作成

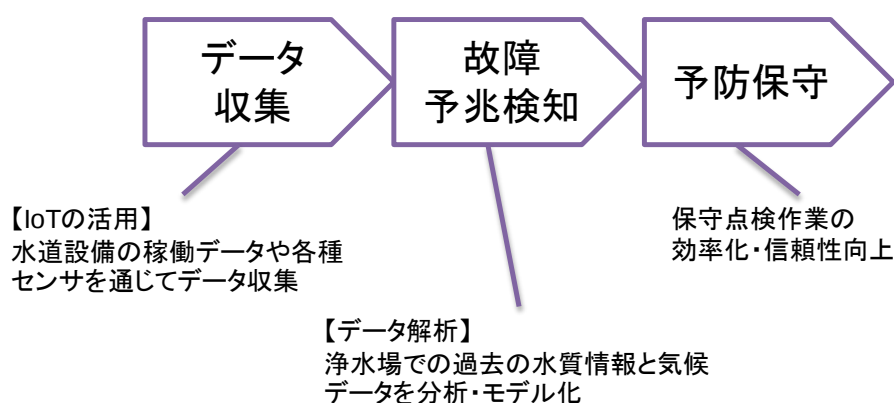
— 様々な産業で進む IoT や IoE を活用した取組（４） —

【IoT、IoE を活用した保守点検の効率化の試み】

メタウォーター株式会社と富士通株式会社は、設備保守点検業務の実証実験を福島県会津若松市の滝沢浄水場で実施している。メタウォーターは、2013 年から上下水道施設の点検作業にタブレットを活用したインフラ管理サービスを提供しており、さらに 2014 年 4 月からは、滝沢浄水場の設備更新・維持管理事業に着手している。今後、水道設備などから収集されるデータや、作業者が装着するヘッドマウントディスプレイ等を活用し、業務の高度化・効率化を目指す。

実証実験では、水道設備の稼働データや各種センサからデータを収集・分析し、設備の故障予兆検知、及び予防保守の試みの実用性を検証する。また、浄水場での過去の水質情報と気候データを分析・モデル化するとともに、水質予測を行い、浄水における薬剤投入量の最適化を図る試みを行う。

さらに、ヘッドマウントディスプレイ等を用いた保守点検作業の効率化・信頼性向上に向けた実用性検証を行う。熟練作業員の保守点検作業の様子をデータとして収集し、ナレッジとして蓄積することで、マニュアルなどへの活用を図る。



図：水道設備故障の予兆発見、保守業務の効率化の概要

（出所）みずほ情報総研作成

3.4 ものづくり産業に与える IoT のインパクト

前節までに取り上げたいくつかの事例で見てきたとおり、IoT、IoE を活用することで、ものづくりの現場が変わり、さらにはバリューチェーンの様子も変わり、ものづくりにおいて従来にない新たな価値が生まれる可能性がうかがえる。

特に、IoT や IoE を活用することで、製品・サービスを顧客まで届けるための流れであるバリューチェーンの中で、主要プレイヤーの役割を大きく組み替えることも可能であり、新しいビジネスの枠組みが生まれることも期待される。

例えば、フィリップスやブリヂストンの事例はその先駆けとも考えられる。従来までは顧客の状況やニーズを想定して、ある意味では見切りで製品・サービスを製造・販売していた状況であろう。しかし今後は、顧客さえ把握できていない状況やニーズを製造事業者がいち早く把握した上で、確実に製品・サービスを顧客に提供していくことが当たり前になるかもしれない。

そしてこの流れは、従来からものづくりに取り組む大手製造企業だけではなく、新しいものづくりのあり方を形成しつつある、中小・ベンチャー企業においても実現できる可能性が十分にある。というのも、本稿の冒頭で紹介したとおり、この大きなものづくりを取り巻く流れは、現在、国を挙げて、若しくは、大手企業を中心に企業連合を組みつつ、トレンドを生み出そうとしている状況だからである。大手企業等に先駆け、斬新なアイデアの新しいサービスを迅速に立ち上げ、業界の主要サービスにまで育て上げるチャンスがあるとも考えられるためである。

例えば、Local Motors やカブクの事例は、中小・ベンチャー企業等が斬新なアイデアの新しいサービスを迅速に立ち上げ、業界の主要サービスとしていく流れのひとつと捉えても良いかもしれない。

IoT や IoE を活用したものづくり産業にインパクトを与える取組は、ものづくりの大きなパラダイムシフトにつながる可能性がある。単にものづくりの方法等が変わるだけではなく、製品・サービスを顧客まで届ける流れや、顧客のモノやモノに伴うサービスの使い方が従来と全く変わってしまうかもしれない。このように将来のものづくりの大きな変化の兆しが見える中で、我が国の産業がその流れに後れを取らず、むしろ積極的に新しい流れを生み出す側に立つことが期待される。

4. IoT 時代の情報処理基盤

4.1 IoT 情報処理基盤

(1) 爆発するデジタルデータへの対応

インターネットの普及、IoT の勃興によりデジタルデータの量は近年急増しており、グローバルなデータ量は、2011 年の約 2 ゼタバイト（2 兆ギガバイト）から 2016 年には約 4 倍の 8 ゼタバイトに拡大すると予想されている。クラウドサービスの普及や IoT の進展等により、データ量は今後大幅に増大すると見込まれ、2020 年には、2000 年のデータ量の約 6,500 倍の 40 ゼタバイトに達するとの予想⁶¹もある。

IoT 時代には、ネットワークやデバイスの高度化、生活や経済構造に欠かせないインフラとしての ICT 活用の定着、スマートフォンの普及や交通・流通系の IC カード、ウェアラブル機器の普及、センサの小型化・低廉化が、デジタルデータの爆発的増加の要因となる。さらに、SNS などインターネット上のデジタルデータのみならず、自動車や住宅、さらにはものづくりや農業などの産業や社会インフラに係るモノがネットワーク化され、自然現象データ、生体情報等のデータに加え、交通・電力、機械等のデータといったこれまでデジタルデータとして取扱われてこなかったデータがネットワーク化されると見込まれる。米国の大手通信機器ベンダーである Cisco は、モノだけでなく人やプロセスがネットワーク化された世界を IoE(Internet of Everything)と捉えた上で、2000 年には約 2 億であったインターネット・ユーザーが、2013 年には、100 億近くまで増加し、2020 年にはインターネットに接続する機器が、全世界で 500 億台を超えると予測している。また、全世界に 1.5 兆個を推測されるモノのうち、ネットワーク化されているのは僅か数%に過ぎず、潜在的に残りの 9 割を超えるモノが、ネットワーク化される可能性があることを指摘している。実際に IoT 時代に流通するデジタルデータ量を正確に試算することは難しいが、IoT 時代には、これまでにはない膨大なデジタルデータが流通し、そのデータを処理するための仕組みが必要になる。

(2) IoT を実現する情報処理基盤

IoT 時代にデジタルデータが爆発的に増加したとしても、個々のデータのみで生み出せる付加価値は限定される。デジタルデータから付加価値を創出し、経済価値を生み出すためには、データを管理した上で、利用者のニーズに応じて、データ分析、他システムとの連携、リアルタイム処理等を行い、付加価値を生み出すための新たな情報処理基盤が必要となる。そのため、IoT を商機と見込む ICT 企業では、IoT に対応した情報処理向けの製品や情報処理基盤⁶²の提供に力を入れている。以下には、ICT 企業による IoT

⁶¹ 総務省「ICT コトづくり検討会議報告書ーデータの開放・共有・活用による新たな社会・経済構造への転換ー」（平成 25 年 6 月）

⁶² 各社公表資料、報道資料等を参考としてみずほ情報総研が作成したものである。各製品や具体的な技術に関しては、各社の公表資料等を参照されたい。

に対応した情報処理基盤例⁶³の概要を示す。

① IBM

IBM は、同社が提供しているクラウドベースの情報処理基盤に IoT 向けの機能を拡張する形で IoT 向けの情報処理基盤を提供している。2014 年 10 月には、IoT を構成するデバイスの接続を促進するため IoT Foundation⁶⁴と呼ばれるクラウドベースの SaaS の提供を開始した。IoT Foundation は IBM SoftLayer⁶⁵を基盤とする IBM Bluemix⁶⁶環境で稼働する。Bluemix はウェブやモバイル、ビッグデータ、スマートデバイス向けのアプリケーションの開発や管理、運用を行うための同社のクラウドベースのプラットフォームであり、IoT Foundation は Bluemix を IoT 向けに拡張したものである。IoT Foundation を利用することにより、不安定な稼働環境、低帯域 N/W 環境で使用されるセンサや端末向けに開発された IoT や M2M 環境に最適化された通信プロトコルである MQTT⁶⁷（MQ Telemetry Transport）基盤を利用することが可能となる。Bluemix は Cloud Foundry⁶⁸に完全準拠した製品であり、IoT Foundation と IBM Bluemix を組み合わせることで、IoT デバイスやそのデータへのアクセスのセキュリティ、容易性が実現される。

② Microsoft

Microsoft は、2014 年 4 月に、IoT からのデータを収集し、クラウド上で管理する Microsoft Azure Intelligent Systems Service(ISS)⁶⁹を公開している。このサービスを利用することで、Microsoft のデータ分析ツール、例えば Windows Azure 上に構築した Hadoop ベースのサービスである HD Insight や、同社のビジネスインテリジェンスサービス Power BI を利用することが可能となる。ISS は、Microsoft の Azure のクラウドサービスがネット接続型の産業装置やセンサといった IoT デバイスにまで拡大され、装置が生成するデータを OS に依存せず収集、セキュアに接続・管理することが可能となる。Microsoft の IoT 情報処理基盤は、基本的に IoT データを Azure クラウド上に集約する仕組みとなっている。

③ Oracle

Oracle の IoT 向け情報処理基盤は、同社が提供している複数の製品の組み合わせにより実現される。各種センサ情報を識別・集約してサーバーにつなぐセンサ・ゲートウェ

⁶³ IoT に対応した情報処理向けの製品や情報処理基盤は、本レポートで取り上げた例以外にも、日系 ICT 企業を含めて複数の ICT 企業から提供されている。

⁶⁴ IBM IoT Foundation (<https://internetofthings.ibmcloud.com/>)

⁶⁵ IBM Cloud SoftLayer (<http://www.ibm.com/cloud-computing/jp/ja/softlayer.html>)

⁶⁶ IBM Bluemix (<https://www.ibm.com/developerworks/jp/cloud/library/cl-bluemixfoundry/>)

⁶⁷ MQTT は 1999 年に IBM 社と Eurotech 社のメンバーにより考案された M2M や IoT の実現に適したシンプルで軽量のプロトコル。標準化団体である OASIS によって、MQTT の標準化が進められている。

⁶⁸ オープンソースの Platform as a Service(PaaS)ソフトウェア群

⁶⁹ Microsoft Microsoft Azure IoT Service
(<http://www.microsoft.com/ja-jp/server-cloud/solutions/internet-of-things-health.aspx>)

イ機能は Oracle Event Processing for Embedded⁷⁰と呼ばれる。端末側には、データ処理エンジン（Complex Event Processing :CEP）が組み込まれ、フィルタリングやデータ処理機能の一部が実装される。これにより端末側でデータの1次処理を行い、ネットワークへの負荷を下げるとともにリアルタイムなフィードバック処理を実現する。長期的なデータ蓄積や高度な分析、フィードバックに関しては、ゲートウェイを経由したサーバーで処理される。サーバー側は、Oracle Linux 上の Oracle WebLogic Server、Oracle Coherence、Oracle Event Processing を活用したインメモリ・プロセッシング基盤、Oracle Database によるビッグデータ管理・蓄積、およびビッグデータアナリティクス製品 Oracle Endeca Information Discovery によるデータ分析基盤から構成される。

④ Cisco

Cisco は、IoE のコンセプトを提唱するとともに、IoE を実現する情報処理基盤として、5 階層モデルを提案している。この階層モデルは、センサや端末等のデバイス層、フィールドエリア～バックホールのネットワークおよびゲートウェアから構成されるネットワーク層、IoE プラットフォーム層（IP ネットワークを管理する IP ネットワークプラットフォームおよびデータ分析を行うためのアナリティクスサービスプラットフォームから構成される）、産業分野でのアプリケーションであるインダストリーアプリケーション・サービス層及びアプリケーションの共通機能となる共通ビジネスサービス層から構成される。

Cisco のデータ処理は、エンドポイント層、マルチサービスエッジ層、コア層、データセンタークラウド層の4階層から構成される。Cisco の IoT 情報処理基盤の特徴は、IoE プラットフォームからインダストリーアプリケーションサービスをクラウド/フォグコンピューティング上で稼働することが想定されている点である。フォグコンピューティングは、クラウドとデバイスの間にフォグ（霧）と呼ばれる分散処理機能を配し、大量データ処理のクラウドへの集中を防ぐ。これにより、ビッグデータのクラウドコンピューターでのデータ処理負荷を下げると同時に、ネットワークのトラフィック爆発を回避することが企図されている。フォグコンピューティングを実現するためのソフトウェアプラットフォームとして Cisco IOx⁷¹が発表されている。

(3) IoT 向け情報処理基盤の特徴

各社の IoT 情報処理基盤の基本的な構造や機能は比較的類似し、端末層、ネットワーク層、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、データ管理、セキュリティ管理、接続及びデバイス管理の機能から構成される（図 4-1）。

⁷⁰ Oracle Oracle Event Processing for Oracle Java Embedded
(<http://www.oracle.com/us/technologies/java/embedded/event-processing/overview/index.html>)

⁷¹ Cisco, Cisco Fog Computing with IOx (<http://www.cisco.com/web/solutions/trends/iot/cisco-fog-computing-with-iox.pdf>)

他方、リアルタイムデータの収集や処理の考え方には違いが見られる。IoT において端末のコントロールやリアルタイムな制御が必要な場合には、収集したデータを即時に処理しフィードバックする必要があるが、実際に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ーで一括処理することは、ネットワークの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。そのため、端末やエッジと呼ばれるゲートウェイで一部の処理を行う分散処理方式も採用されている。分散処理による方式は、IoT のネットワーク利用環境が厳しい場合やローカルでリアルタイムなデータ処理が必要なケースでは不可欠なアーキテクチャになる一方、システムの構成や情報処理機能の実装が複雑になる可能性もある。また、膨大なデジタルデータの取扱いが必要な IoT においては、従来の情報処理技術では処理に限界が見込まれ、クラウド側での情報処理に関しては、ビッグデータを活用したビジネスを行う ICT 企業で導入されている超多重分散処理技術⁷²等が必要となる。

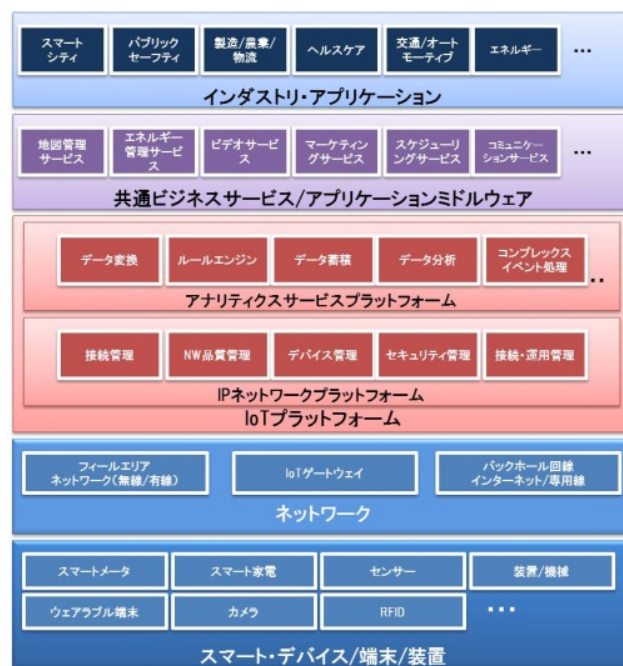


図 4-1 IoT 向け情報処理基盤の階層モデルと機能

出所：各社資料をもとにみずほ情報総研作成

⁷² Google により導入された超多重分散処理の手法 MapReduce は、オープンソフトウェア開発団体である Apache Software Foundation が、Hadoop としてオープンソフトウェアとして公開している。また、Facebook 社が開発した大規模データ向けの分散データベース管理システムである Cassandra というソフトウェアも Apache Cassandra という名前で、オープンソフトウェアとして公開されている。こうした超多重分散処理技術は、一定以上のデータ量となるビッグデータの情報処理技術として不可欠になっている。Google 日本法人元社長村上氏は、RDBMS 等、従来の情報処理技術で処理できるビッグデータと区別するためビッグデータ 1.5 と呼んでいる。(出所) 村上憲郎、「SNS と IoT (Internet of Things) が切り拓く、ビッグデータ 2.0 の世界」 情報管理 vol.56 no.2 (2013) 独立行政法人科学技術振興機構

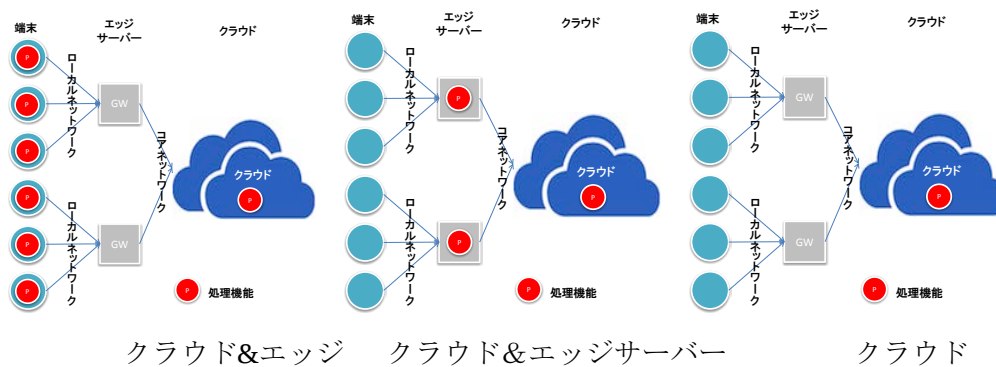


図 4-2 IoT 情報処理基盤のアーキテクチャの違い

(出所) 各社資料をもとにみずほ情報総研作成

(4) 付加価値を生み出すデータ分析機能

センサやデバイス等から収集された膨大なデータを処理したとしても、それだけで、付加価値を生み出すわけではない。膨大なデータから利用者にとって有益な情報を生み出すためには、データを分析して利用者が欲しい情報の獲得や意志決定、機器制御に生かすための情報“分析”技術（アナリティクス）が重要となる。そのため、各社の情報処理基盤には、定型的なデータによる統計的な分析から人工知能による分析まで、様々な技術による情報分析機能が組み込まれている。特に、IoT では、膨大かつ非定型なデータの分析が必要になると見込まれ、従来技術による効果的分析の限界も指摘されている。そのため、膨大かつ多様なデータを効果的に分析するための新たな情報分析技術に注目が集まっている。

4.2 注目される人工知能

IoT データからの情報分析技術として、注目されるのが人工知能の応用である。人工知能は情報分析技術の一つとして旧来から存在していたが、その適用の限界から下火となっていた。しかしながら、新たな理論と人工知能の高度化に不可欠な、計算性能向上と学習のためのデータ環境が現実化することで、第3次の人工知能ブームとして脚光を浴びている。以下には、人工知能の歴史と近年の人工知能の発展を牽引している機械学習の進化・ディープラーニングの概要と動向を解説⁷³した上で、今後の展望や課題を示す。

(1) 人工知能の研究領域と研究の変遷

人工知能の定義には、様々なものが存在するが、オペレーションズ・リサーチ学会は、人工知能を「人間や生物の知能を、機械によって実現したもの、あるいはその研究分野」と定義⁷⁴した上で、具体的なテーマとしてコンピュータを処理の中心とした 各種入出力機器を結合したシステムによるチェス、将棋等のゲームを典型的問題とする問題解決・推論、文字、パターン等の認識、言語の理解、診断等の現象の分析、経験からの学習等を挙げている。

人工知能の関連研究は、生理学、認知心理学、情報工学などの分野で取り組まれている。このうち、情報工学分野では、①知識：知識の獲得と表現とその利用、②推論：推論表現と推論方式、③学習：学習理論と学習機能、④アルゴリズム：有効な解探索戦略、⑤プログラム：人工知能プログラミング言語の開発等が研究対象となっている。

人工知能研究の黎明期には、アルゴリズム、論理、シミュレーションの研究が行われ、現在の人工知能に関する基本的概念が提案されている。1956年に開催されたダートマス会議において McCarthy により、人工知能の名称が提案された。

その後の研究では、論理型計算や認知心理学的アプローチによる人工知能の研究が行われた他、実用的問題に対するアプローチとして知識工学が提唱され、人工知能の実用化を企図したエキスパートシステム等が開発された。また、我が国においては、人工知能に関連する大型の研究プロジェクトとして第5世代コンピュータ計画が通商産業省（現 経済産業省）により行われた。

しかしながら、人間の直感や感性等を論理型計算により実現することが難しく、実用化を目指したエキスパートシステムも知識獲得がボトルネックとなることが判明し、人工知能研究の限界が指摘された。その後、ニューラルネットワークが再び注目され、逆伝播学習アルゴリズムによる学習とパターン認識への応用、遺伝的アルゴリズムによる

⁷³ 人工知能全般に関する動向に関しては、小林雅一、「朝日新書 クラウドから AI」（2013）（朝日新聞出版）などが詳しい。また、人工知能の研究全般に関する書籍としては、馬場口登、山田誠二、「人工知能の基礎（第2版）」（2015）（オーム社）などがある。

⁷⁴ オペレーションズ・リサーチ学会、OR 事典 Wiki（<http://www.orsj.or.jp/~wiki/wiki/index.php>）。人工知能の定義や研究の変遷がまとめられている。人工知能学会、What's AI（<http://www.ai-gakkai.or.jp/whatsai/>）にも人工知能や研究の変遷等がまとめられている。

人工生命の研究等が活発化した。また、脳科学の立場から脳機能の解明を目指す脳研究も活発化し、その成果の人工知能モデルの高度化への活用も期待されている。

(2) 新たなニューラルネットワーク技術：ディープラーニング

近年人工知能が注目される背景には、ディープラーニング⁷⁵と呼ばれる新たなニューラルネットワーク技術の登場により、従来の人工知能の課題をブレークスルーする可能性が示されたことが大きい。ディープラーニングは、人間の頭脳を構成する無数の神経細胞のメカニズムを模倣した新たなニューラルネットワーク技術である。ニューラルネット自体は、人工知能の研究開発が始まった 1950 年代から存在する技術である。初期のニューラルネットは、米国の Rosenblatt らが開発した「パーセプトロン」である。パーセプトロンは、脳の神経細胞とシナプスの信号伝達メカニズムを単純化させ、工学的に再現したものである。パーセプトロンは、「排他的論理和」という初歩的な論理演算を理解できないという欠陥を持つことが指摘され、一旦は注目されなくなったが、パーセプトロンの構造に「隠れ層」と呼ばれる新たなレイヤーを追加・拡張することで、排他的論理和など初期の問題が解決された。しかしながら、拡張されたニューラルネットも比較的簡単な概念を理解するだけでも、隠れ層の数を増やす必要がある等の課題が指摘され、その期待が後退した。

こうした課題にブレークスルーをもたらした技術が、視覚や聴覚、味覚など人間の様々な認知メカニズムにあるアルゴリズム⁷⁶に基づく「スパース・コーディング (Sparse Coding)」と呼ばれる手法である。スパース・コーディングは、ニューラルネットへの入力情報から、認識に必要な概念形成のための情報（特徴量）を取り出す技術⁷⁷である。スパースコーディングを取り入れた多層化ニューラルネットワークでは、隠れ層の情報が深部にまで伝達されるに伴い、画像であれば、点から線、線から輪郭、輪郭から部分、部分から全体のイメージへと、高次の概念に、学習の深度が段階的に引き上げられる。こうした学習深度が階層化されたニューラルネットワークを総称して「ディープラーニング」と呼んでいる。

⁷⁵ ディープラーニングに関する書籍には、松尾豊、「角川 EPUB 選書 人工知能は人間を超えられるか ディープラーニングの先にあるもの」(2015) (KADOKAWA)、日経コンピュータ編、「日経 BP ムック The Next Technology 脳に迫る人工知能 最前線」(日経 BP) (2015)、小林雅一著「朝日新書 クラウドから AI」(2013) (朝日新聞出版) などがある。

⁷⁶ 脳の視覚野は、網膜から伝達された映像情報を、映像を構成するピクセル情報の中から、物体を認識するための特徴ベクトル（特徴量）を抽出し、これらを段階的に組み合わせ高次の概念を形成する。

⁷⁷ 与えられた画像を少数の基底の線形和で表現するため、適切な基底系を統計的・情報論的な基準にもとづき構成する手法である。(出所) 村田昇、「スパースコーディングの基礎理論と画像処理への応用」、情報処理学会研究報告 IPSJ SIG Technical Report (2006) 一般社団法人情報処理学会

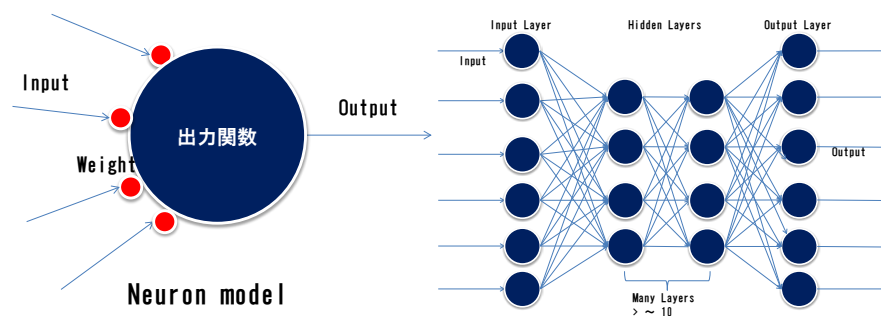


図 4-3 ニューロンモデルと階層型ニューラルネットワーク

(出所) 各種資料をもとにみずほ情報総研作成

また、ディープラーニングが逆伝播学習アルゴリズムによる階層型ニューラルネットワークによる機械学習の進化のみならず、入力信号を教師信号として学習することで特徴量を獲得するオートエンコーダの導入やノイズを加えた膨大なデータによる学習を行うことによりロバスト性を高めたことが、ディープラーニングの実用性と可能性を革新的に高めた。

ディープラーニングは、Googleをはじめとした ICT 企業が、最優先課題として取り組んでいる人工知能技術である。Google は、米 Stanford 大学との共同研究によりディープラーニング技術を使って YouTube 上にある大量の動画から「猫」を抽出し、そのイメージ（概念）をぼんやりとコンピュータ画面上に表示することに成功した。また、ディープラーニングは実際の製品にも応用され、その成果を上げている。例えば、Google の音声検索や、Apple の音声アシスタント「Siri」などの音声認識技術にはディープラーニングが導入されている。こうした認識技術では、人間の評価を与えない無教師学習モデルが主に利用され、利用の回数が増すにつれて、精度が上がる（賢くなる）仕組みとなっている。

Hawkins らは、人間の認知・学習のメカニズムは、観測された周囲のデータのパターンから予測を行う能力によるとした理論⁷⁸を提唱している。ディープラーニングは、そのメカニズムを再現しているという見解もあり、汎用性と応用の可能性が期待されている。

ディープラーニングの活用の可能性は、一部の特別な ICT 企業に限定されているわけではない。ディープラーニングを実装するための開発フレームワークも複数登場し、代表的なフレームワークには、UC 大学 Berkeley で開発された Caffe⁷⁹や Montreal 大学による Theano/Pylearn2⁸⁰、Facebook、Twitter、Google の技術者により開発された Torch⁸¹があ

⁷⁸ Jeff Hawkins, Sandra Blakeslee, On Intelligence: How a New Understanding of the Brain will Lead to the Creation of Truly Intelligent Machines, Times Books (2004) .

⁷⁹ Berkeley Vision and Learning Center (BVLC)、Caffe (<http://caffe.berkeleyvision.org/>)

⁸⁰ LISA group at the University of Montreal、Pylearn2 (<http://deeplearning.net/software/pylearn2/>)

⁸¹ Torch (<http://torch.ch/>)

る。ディープラーニングの実装では、GPU の汎用演算機能(GPGPU)との適合性が高いため GPU 専用の開発フレームワークも提供されている。

ディープラーニングの実用性が注目されることで、ディープラーニング専用のプロセッサの開発も始まっている⁸²。脳の神経回路網を模した「ニューロモーフィック・チップ (Neuromorphic Chip)」の開発が進められている。TeraDeep⁸³は、ディープラーニング向けのニューロモーフィック・チップを開発し、スマホ内蔵のカメラによる映像情報をディープラーニングで解析し、スマホが周囲の環境を認識する。また、大手チップ・メーカーも脳を模倣したチップの開発を進めており、Qualcomm は、「スパイキング・ニューラルネット (Spiking Neural Network)」を実装したニューロモーフィック・チップを開発⁸⁴している。スパイキング・ニューラルネットは、従来のニューラルネットに時間的パルスを加えたものであり、従来のチップ (CPU) が不得意であった物体認識、不完全な情報の処理、雑音の多い環境下での情報抽出等を効果的に行うチップである。米国防高等研究計画局 (DARPA) もシナプス (SyNAPSE⁸⁵) プロジェクトを立ち上げ、スパイキング・ニューラルネット型のニューロモーフィック・チップの開発を進めている。同プロジェクトには米 IBM の Almaden 研究所や Watson 研究所、米 Hughes Aircraft 社の HRL 研究所などが参加している。

(3) 企業による人工知能分野への取組

昨今の人工知能の進展の動きを受けて、米国等を中心に情報通信関連企業 (ICT 企業) では、人工知能の技術開発と実用化に向けた取組が活発化している。こうした動きは、IoT によるデジタルデータを含め、所謂ビッグデータからユーザーにとって付加価値を生み出す情報分析技術の競争力が ICT 企業の競争力の差別化⁸⁶につながるからである。また、ICT 企業以外でも人工知能の活用に関する研究開発に取り組む動きも見られる。

以下には、最近の ICT 企業等による人工知能に関する取組み⁸⁷を概説する。

① IBM

IBM による人工知能に関する技術開発への取組は、現在の IBM の事業戦略であるコグニティブ (認知) コンピューティング⁸⁸の推進の柱の一つとなっている。ニューヨー

⁸² 小林雅一「AI (人工知能) にかかる米シリコンバレーと Google の野望―危機に晒される日本の産業用ロボット」(株式会社 KDDI 総研) (2014 年 5 月) (<http://www.kddi-ri.jp/article/RA2014005>)

⁸³ TERADEEP (<http://www.teradeep.com/>)

⁸⁴ Qualcomm, Qualcomm Zeroth is advancing deep learning in devices (<https://www.qualcomm.com/news/onq/2015/03/02/qualcomm-zeroth-advancing-deep-learning-devices-video>)

⁸⁵ SyNAPSE : Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics

⁸⁶ 米調査会社は、人工知能市場は世界規模で 2014 年の 62 億ドルから 2019 年までに年率 20%近い成長により 153 億ドル規模まで伸びると予測している。また、2024 年までにはエキスパートシステムが約 124 億ドル、自律型ロボットが 139 億ドルの市場規模になると予測している。(出所) 独立行政法人情報処理推進機構「IPA ニューヨークだより 米国における人工知能に関する取り組みの現状」(2015 年 2 月)

⁸⁷ 本節では、各社公表資料、報道資料を参考にビッグデータの情報分析に係る人工知能に関する技術開発や実用化動向を記載する。ビッグデータの対象は、必ずしも IoT に限定していない。

⁸⁸ IBM, Watson HP (<http://www.ibm.com/smarterplanet/jp/ja/ibmwatson/>)

ク・マンハッタンにあるシリコンアレーに、人工知能 Watson の開発を手掛ける Watson Group のグローバル本部を開設し、コグニティブコンピューティングの進展に向けて、Watson 事業に 10 億米ドルを投資することを発表している。IBM は、Watson のグローバル本部の建設と並行して、25 カ国以上でコグニティブコンピューティングの事業を展開している。

IBM は、ダブリンとロンドン、メルボルン、サンパウロ、シンガポールの世界 5 都市に Watson Client Experience Center を開設する計画⁸⁹も明らかにしている。同センターでは、アプリケーションの学習アルゴリズムを適用する方法について、Watson に精通した研究・設計チームがアドバイスを提供する予定である。IBM は、Watson を中心としたコグニティブコンピューティング関連事業を加速するため、グローバル本部の開設と合わせ、国内外の研究者やパートナー企業、クライアント、開発者、学者、ベンチャーキャピタリスト等とも世界的なネットワークの構築に取り組んでいる。

Watson⁹⁰は、2011 年のクイズ番組 Jeopardy! で人間のチャンピオンに勝利するなどの取組みを通じて社会的認知が進み、Watson の質疑応答エンジンは、医療や小売業など、様々な分野に採用されはじめている。IBM は、過去には、1997 年には Deep Blue により人間のチェスチャンピオンに勝利するなど、人工知能の研究開発成果を分かりやすくプロモートすることで、人工知能分野における IBM のリーディングカンパニーとしての認知向上に成功している。

IBM は、Watson をベースとした新しいサービスを 3 種類発表している。Watson Analytics は、自然言語処理によるトレンド分析、Watson Discovery Advisor は、医薬品や出版物のリサーチ機能の簡易化と向上の実現、Watson Explorer は、ビッグデータの処理向けにデータ主導型のダッシュボードや開発フレームワークを提供する。こうした機能は、IBM の特定アプリケーション向けビッグデータ処理向けのハードウェア・ソフトウェアシステムである PureData System 等で稼働し、IoT 等、データ量が膨大、非構造データなどの場合、Hadoop による分散処理機能を持つ PureData System for Hadoop が利用されると見られる。

Watson の実用化に向けた取組の事例^{91,92}も増えつつある。米オースティンの観光局 Austin Convention & Visitors Bureau は、Watson を活用したトラベルサイト WayBlazer を運用して、Watson の学習機能や、自然言語インタフェースによる映像を交えたアドバイス機能を検証している。オーストラリアの ANZ Global Wealth 銀行は、Watson Engagement Advisor ツールをベースとしたアプリケーション開発に取組み、従来数週間を要していた

⁸⁹ IBM、世界規模で加速する IBM Watson の採用 (<http://www-06.ibm.com/jp/press/2014/10/0801.html>)

⁹⁰ クイズ番組「Jeopardy!」に勝利した Watson は、ライトウェイト・オントロジーの研究成果や機械学習を組み合わせによるものである。IBM は、ディープラーニングの研究開発や企業買収も進めており、今後、IBM の人工知能に関するシンボル名称 (コア・プラットフォーム) である Watson の機能にディープラーニングが取り込まれ、能力強化が図られると見られる。

⁹¹ Watson の活用事例や活用に向けた事例は、各社発表、報道等で公表・報道されている。Watson の活用事例は、特定の技術や製品の活用というよりは、Watson ブランドとして IBM が提供する一連の人工知能関連技術やプラットフォームの活用事例である。

⁹² IBM、IBM Watson Accelerates Global Expansion (<https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/45022.wss>)

財務アドバイス報告書を、短期間でクライアントに届けることを目指している。南アフリカの医療保険会社 Metropolitan Health は、Watson Engagement Advisor の導入を進め、膨大な非構造化データの中から、300 万人の顧客の個々のニーズに対応した情報を提供することを目指している。また、オーストラリアの Deakin 大学は、学生へのアドバイスの提供に Watson を活用する計画を持ち、5 万人の学生一人一人に対応したアドバイスを Web 上で行う。この他、英国の Red Ant の製品情報やマニュアル、カスタマーレビューのデータをもとにした購買層や購買履歴、ターゲット価格などの分析、米国の Reflexis による顧客サービス向上のための店舗マネジャーに対するリアルタイムな注意等への Watson の活用等が報告されている。また、スペインの CaixaBank と提携し、Watson に第二言語としてスペイン語を学習させるなど、英語圏以外での Watson の活用を進める動きも見られる。日本国内では、みずほ銀行と共同で音声データをテキスト化する音声認識技術、および IBM の保有する Watson テクノロジーや関連技術を組み合わせて、コールセンターや銀行窓口でのお客さま対応等で有益な情報を提示するシステムを共同構築することに合意するなど、様々な産業分野で Watson の活用が始まっている。

IBM は、人工知能による情報分析技術の開発と並行して、専用のチップの研究開発にも取り組んでいる。2008 年から Cornell Tech、iniLabs, Ltd.等と共同で、米国防省国防高等研究計画局(DARPA)による SyNAPSE プログラムにより、ニューロン（脳神経細胞）の働きを模したプロセッサ「ニューロシナプティック・コンピュータ・チップ」の開発に取り組んでいる。2014 年 8 月には、CMOS チップの中でも最大級といえる 54 億個のトランジスタを備え、これらが 100 万個のニューロン、2 億 5600 万個のシナプス（ニューロン間結合）の働きをシミュレートするチップ⁹³の開発に成功したことが発表⁹⁴された。

開発されたチップは、必要な箇所だけニューロンを稼働させるため、通常の汎用マイクロプロセッサより消費電力を抑えられ、生物と同じ時間軸でニューロンやシナプスを動作させた場合、消費電力は 70mW 程度に止まる。さらに、IBM はチップの開発と並行して、アプリケーション開発に必要なシミュレータ、プログラミング言語、サンプルのアルゴリズムやアプリケーション、ライブラリ、教材などを開発している。

IBM は長期的なゴールとして、100 億ニューロン、100 兆シナプスのシステムの開発を目指し、消費電力は 1kW、体積は 2 リットル以下を目標としている。こうした技術は、公衆安全、視覚障害者支援、健康モニタリング、自動運転などへの応用が想定されている。

② Google

Google は、検索エンジンを無料で提供し、オンライン広告で利益を上げるビジネスモデルで成長した ICT 企業である。Google は、1998 年創業の企業であるが、時価総額は

⁹³ チップは韓国サムスン電子の 28nm プロセスで製造されている。

⁹⁴ IBM、新しい IBM SyNAPSE チップを発表（www.ibm.com/jp/press/2014/08/0801.html）

トヨタ自動車の2倍の規模の世界第2位の巨大企業となっている。

Google は、Google X⁹⁵と呼ばれる次世代技術開発プロジェクトを進め、Google グラス（拡張現実メガネ）、自動運転、音声認識など多数の研究に取り組んでいる。近年は、自動運転や音声認識等、人工知能技術に係るテーマが重点的に取り組まれ、Google は、最高水準の人工知能技術を有する企業となっている。2012 年には、米 Stanford 大学との共同研究で、1,000 台のクラスターマシンにより、YouTube の動画からランダムに抽出した 1,000 万枚の画像を用いて 3 日間をかけた教師なし学習により人や猫の顔に強く反応する人工ニューロンの作成に成功した。人間が事前に人や猫の顔の画像をまとめたり、画像にラベルを付けたりすることなく、人工知能が自律的に認識性能の高い機械学習を実現できた例として知られている。また、近年は、人工知能や人工知能を搭載したロボット等、人工知能に関連する多数の企業買収を積極的に進めている。

表 4-1 Google による人工知能・ロボット等の企業買収動向

年月	企業名	所在	概要
2013 年 3 月	DNNresearch	カナダ	ジェフリー・ヒルトン氏のニューラルネットワーク企業
2013 年 10 月	Flutter	米国	ジェスチャー認識アプリケーションの提供
2013 年 12 月	Schaft	日本	作業用の人間ロボットの開発
2013 年 12 月	Industrial Preception	米国	物流など向けロボットアームの開発
2013 年 12 月	Redwood Robotics	米国	物流など向けロボットアームの開発
2013 年 12 月	Meka Robotics	米国	人型コミュニケーション・ロボットの開発
2013 年 12 月	Holomni	米国	物流など向けキャスター（車輪）の開発
2013 年 12 月	Bot & Dolly	米国	映像向けロボットアームの開発
2013 年 12 月	Autofuss	米国	Bot & Dolly の関連会社である映像作成企業
2013 年 12 月	Boston Dynamics	米国	災害や軍事向け 4 足走行ロボットの開発
2013 年 12 月	Nest Labs	米国	知的な家庭用サーモスタットなどの開発
2014 年 1 月	DeepMind Technologies	英国	ゲームやシミュレーション向けの AI 開発
2014 年 4 月	Titan Aerospace	米国	災害や軍事向けの無人飛行機の開発

（出所）総務省「平成 26 年版情報通信白書」から作成

Google が買収したディープラーニング関連企業の一つは、ディープラーニング研究の第一人者である Toronto 大学の Hinton 教授によるニューラルネットワーク関連の研究開発企業 DNNresearch である。また、2014 年にはイギリスのディープラーニング企業 DeepMind Technology⁹⁶を買収した。DeepMind Technology は優れたディープラーニング研究者を擁していることから、DeepMind Technology の買収競争に Google や Facebook などのインターネット企業が参画し、6 億 5000 万ドルで Google が買収に成功した。DeepMind の技術は、Google の検索エンジンに搭載され、利用者の意図を学習した上での最適な情報提示、YouTube の推奨機能、モバイル音声検索機能などに適用される予定である。

また、Google はロボット企業や IoT 関連企業の買収にも積極的であり、4 脚ロボット

⁹⁵ Bloomberg Business Inside Google's Secret Lab(May 22, 2013)
(<http://www.bloomberg.com/bw/articles/2013-05-22/inside-googles-secret-lab>)

⁹⁶ Google DeepMind (<http://deepmind.com/>)

や軍備輸送用ロボットなどを開発する **Boston Dynamics**、ヒト型の二足歩行ロボットを開発した日本企業である **Schaft** を買収するなど、多数のロボット会社を買収している。今後、こうしたロボットに洗練された人工知能が搭載される可能性もある。

Google は、**Web** サービスやスマートフォンサービスに留まらず、ロボット、家電、自動車等、ネットにつながる全てのモノ (**IoT**) をビジネスの対象としており、それを支える人工知能の強化を急いでいる。**Google** の人工知能に関連する研究は、ディープラーニング等のソフトウェアの技術開発に限らない。2014 年には、**California** 大 **Santa Barbara** (**UCSB**) の **John Martinis** の率いる研究チームが **Google** の量子コンピュータ研究プロジェクトに参加した他、量子コンピューティングの研究にも積極的であり、**NASA** や **USRA** (**Universities Space Research Association**) の量子人工知能研究所と協力して、推論プロセッサの開発を進めるなど、新たなコンピューティングの研究開発にも取り組んでいる。

③ Microsoft

Microsoft は、既に人工知能を様々な製品機能として市場投入している。2014 年 11 月には、人工知能による重要メール識別機能 **Clutter** を **Office 365** で提供開始することを発表している。**Clutter** は、**Office 365 for Business** の利用者向けの機能であり、人工知能により、最重要メールを識別、分類する。重要メールの識別には、**Microsoft** の **Office Graph** 技術が利用され、ドキュメント共有、頻繁な利用、オフィス内の様々な人間関係やアクティビティのつながりを機械学習で学習し、メールが振り分けられる。

Microsoft の人工知能活用は、**Clutter** のようなオフィスツールの利便性を高めるといった機能に止まらず、**IoT** 向けのサービスにも展開されている。**Microsoft** は、2014 年 4 月に **Microsoft Azure Intelligent Systems Service** という新たなクラウドサービスの提供を開始した。このクラウドサービスは、**IoT** を前提として、センサや端末からマシン生成データを取得し、管理することが可能となる。実際には、**Windows Azure** 上に構築した **Hadoop** ベースの **HD Insight** やビジネスインテリジェンスサービス **Power BI** 等を利用して、**Azure Intelligent Systems Service** からデータの取得や分析ができるようになる。この分析機能に **Microsoft** が 2014 年 6 月に公表した **Microsoft Azure Machine Learning** を応用することが可能である。これにより、過去のデータ分析だけでなく、過去のデータを学習し、それをベースに将来予測を行うことができる。**Microsoft Azure Machine Learning** は、**Microsoft** の機械学習の研究成果をクラウドサービス化したものであり、E コマースの監視や、顧客分析・予測、信用リスク予測、機器の故障予測に応用でき、**IoT** 分野にも応用できるとしている。**Microsoft Azure Machine Learning** は、機械学習のモデル作成・モデルの評価～作成した分析モデルの利用、環境 (**Web** サービス) まで、機械学習の開発～サービス提供で必要となるすべてのコンポーネントを **PaaS** により提供する。

Microsoft Azure Intelligent Systems Service と **Microsoft Azure Machine Learning** を **IoT** 分野で応用した事例として、竹中工務店と日本マイクロソフトによるオフィスビルなどの

環境を最適にするサービスがある。このサービスは 2015 年に開始される予定で、空調設備などのデータを蓄積・分析して、自動で対応を指示することにより管理担当者の負荷軽減や制御の最適化を実現する。システムには、データ形式や順番の既定、形式変更やフィルタリングの機能を持つ Azure Intelligent System Services と、機械学習機能を提供する Azure Machine Learning Service が使用され、空調の設定変更の最適化や、高度な自動化が実現する。

④ Facebook

Facebook は、2013 年に、New York 大学の Yann LeCun 教授を所長に招き人工知能研究所を設立した。2014 年には、人工知能のベンチャー企業 Vicarious 社に対し、約 4,000 万ドルの投資を実施した。また、Facebook の人工知能の研究施設には、New York 大学の Fergus 氏、Google が買収した DNNresearch の元メンバーである Ranzato 氏などが所属している。Facebook の人工知能の研究施設はニューヨーク、カリフォルニアのメンローパーク、イギリスのロンドンに所在し、機械学習やコンピュータの視覚情報処理機能に関する研究が行われている。その成果はユーザーがアップロードした画像やテキストの分析等での活用が想定されている。

2014 年 3 月には、97.25%という高い認識率で個人の顔を認識することができる技術 DeepFace⁹⁷を開発したことを公表している。DeepFace は画像をそのまま学習していくのではなく、画像から 3 次元の顔の形状を推定し、1 億を超えるパラメータを持つネットワークに学習させることによって個人を特定する特徴を自ら生成している。DeepFace は、Facebook 等の SNS に自由に投稿される画像全てから個人を特定できる高性能な画像認識の実現を目指している。DeepFace の技術は、カメラ等の画像による個人特定にも応用できるため、様々な IoT 分野の応用も期待できる。

Facebook はディープラーニングを扱うオープンソースのフレームワーク Torch のためのモジュールを公開している。Torch には複数のディープラーニングのアルゴリズムが導入されている。Facebook が、自社の研究成果を公表する背景には、Facebook は成果をオープンにすることで、オープンなコミュニティと人的ネットワーク形成により、企業買収と人材獲得で先行する Google に対抗する方策を選択していると考えられる。

⑤ Amazon

Amazon は、2014 年 11 月に音声アシスタント機能を搭載したスピーカー Amazon Echo⁹⁸を発表している。Amazon Echo はインテリジェントな家電で、音声で操作することができる。利用者が質問すると音声で回答する。Amazon Echo は、家庭内でモノがインターネットに繋がれた IoT の事例であり、ユーザーとのインタフェースとして言語解析技術

⁹⁷ Facebook (<https://research.facebook.com/>)

⁹⁸ Amazon (<http://www.amazon.com/oc/echo/>)

が重要となる。Echo では、2012 年に Amazon が買収した英国企業 Evi の持つ知識ベースとセマンティック検索技術が応用されていると見られる。

Amazon の人工知能活用は、音声認識、自然言語処理に限らない。同社は、米連邦航空局（Federal Aviation Administration : FAA）による許可が出れば、ドローン（無人飛行機）を利用した配送サービス（Amazon Prime Air⁹⁹）を開始すると見られる。FAA は、2015 年 1 月に報道機関である CNN とドローン利用に関する研究協定を結び、ジャーナリズムでのドローン使用の研究に許可を出したことから、将来的に Amazon によるドローン配送の可能性も高まっている。無人飛行するドローンには、飛行制御の正確性と安全性が求められる。そのため、飛行制御に関するソフトウェアの高度化が必要となっている。こうした飛行制御のソフトウェアは、自動操縦や障害物を判断して避けるなどの高度な判断が必要であり、広義な意味で人工知能が応用されると考えられる。

⑥ Baidu

人工知能に関する研究開発に積極的な取組を行う IT 企業は、シリコンバレー企業だけに限らない。中国の検索大手 Baidu は、2013 年にシリコンバレーにディープラーニングの研究所を設立し、2014 年には、Stanford 大学の Andrew Ng 教授を研究所長に迎え入れ、300 億円の研究開発投資と約 200 人の雇用計画を発表した。Ng 氏¹⁰⁰は Stanford 大の人工知能研究チームのリーダーで、ニューラルネット研究の第一人者の一人である。Baidu は北京にも人工知能の研究所を開設し、検索サービスの向上につながる画像認識や音声認識、自然言語解析、機械翻訳などの研究に取り組んでいる。Baidu の研究は、検索サービスの高機能化に止まらず、自律走行型の自転車の開発等、IoT 分野への人工知能の応用も含まれている。

⑦ 日本電信電話株式会社（NTT）

NTT は、ビッグデータ解析などの技術分野で、NTT グループ内の複数研究所が連携する研究組織「機械学習・データ科学センター」¹⁰¹（MLC）を 2014 年 4 月に設立し、人工知能の実用化の取組を本格化した。同センターの規模は、30 名程度で、外部企業や大学機関との連携により技術開発を進める予定である。NTT は、Preferred Infrastructure と共同で、リアルタイムに膨大なデータを高速・分散処理できるオープンソースソフトウェア Jubatus¹⁰²を開発し、ツイッターのリアルタイム分析や映像データ、全地球測位システム（GPS）、交通・流通のデータと関連づけにより震災時の行動パターン分析への応用を検討している。IoT 分野の分析では、リアルタイム性が求められる場合も多く、その効果が注目される。通信サービスを提供する NTT では、音声認識や機械翻訳分野での機械

⁹⁹ Amazon、Amazon Prime Air（<http://www.amazon.com/b?node=8037720011>）

¹⁰⁰ インターネット上で受講できる大規模なオープンな講義である MOOCs（Massive Open Online Courses）の代表的なプラットフォームの一つである Coursera の共同創業者でもある。

¹⁰¹ NTT コミュニケーション科学基礎研究所、機械学習・データ科学センタ（<http://www.kecl.ntt.co.jp/mlc/index-j.html>）

¹⁰² 日本電信電話株式会、Jubatus（ユバタス）（http://www.ntt.co.jp/RD/hotkeywords/vol3_jubatus_part1.html）

学習の応用に積極的である。同社では、大学の講義など難しい専門用語を含む音声データでも正確に文字情報として処理することができる音声処理技術に取組み、同分野でもビッグデータ分析や機械学習技術が応用されている。

⑧ ソフトバンク

ソフトバンクは、米 IBM と共同で人工知能型コンピュータ Watson の日本語対応版を開発し、2015 年にも事業展開する方針を打ち出している。Watson の対応言語は英語であるが、今後日本語、スペイン語、ポルトガル語の対応を優先的に進めることが計画されており、日本語版の開発では、ソフトバンクと共同により翻訳やデータ入出力といった日本語にかかわるシステム基盤の構築が行われる予定である。また、IBM は、ソフトバンクとロボット分野で協業することも発表し、ソフトバンクが提供するパーソナルロボット Pepper への人工知能コンピュータ技術の応用が検討されると予想される。

⑨ ヤフージャパン

ヤフージャパンは、IoT 向けの SDK やデータベース、解析、ID といったバックグラウンド環境をサービスとして提供する仮称「Yahoo! IoT プロジェクト」を進めている。同社では、IoT の付加価値を生み出す、IoT のバックエンドの機能を BaaS (Backend as a Service : ユーザーの登録や管理、データ保管といったバックエンド環境のサービス) として提供する予定である。さらに、IFTTT (if this then that) (ウェブサービスを連携して利用できるようにするサービス) を例に挙げ、バックグラウンドで複数のサービスが連携できる仕組みも提供していくことを公表している。同社では、IoT 向け BaaS を当面無料で提供していく予定である。

⑩ 日立製作所

日立製作所は 2016 年度以降の研究開発費を 5,000 億円程度に拡大し、センサや人工知能、ロボット等に集中投資することを発表している。日立はビッグデータ解析など高度 IT と社会インフラ事業を融合したビジネス開拓を進めており、中核技術となる人工知能、センサ、ロボット、セキュリティなどへの開発投資を 3 倍に増やす方針を打ち出している。その内容は、センサ技術や人工知能による鉄道車両や太陽電池モジュールの劣化状況のモニタリングによる設備稼働率向上や抑制技術開発、センサによる店舗内の顧客の行動パターン把握による店舗業績向上が含まれる。

⑪ ドワンゴ

ニコニコ動画などのサービスを提供するドワンゴは 2014 年 11 月にドワンゴ人工知能研究所¹⁰³を発足し、所長に株式会社富士通研究所の山川宏氏が就任した。同研究所は、

¹⁰³ 株式会社ドワンゴ、ドワンゴ人工知能研究所 (<http://ailab.dwango.co.jp/>)

産学官により教育、エネルギー、環境、水資源、食糧、貧困、セキュリティ等の社会課題解決に貢献が期待される人工知能に関する研究を推進する予定である。また、人工知能の若手研究者のレベルアップを企図した NPO 法人全脳アーキテクチャイニシアティブが 2015 年中に設立され、ドワンゴ人工知能研究所が事務局として機能することが発表されている。

⑫ Preferred Networks

自然言語処理技術を利用した研究開発、検索・データ解析製品を提供するベンチャー企業である株式会社 Preferred Infrastructure¹⁰⁴は、2014 年 10 月に IoT 時代に向けた次世代ビッグデータ技術基盤の確立を目指した株式会社 Preferred Networks を設立¹⁰⁵した。Preferred Networks では、IoT の課題であるデータ量と種類の爆発に対応するため、エッジヘビーコンピューティング技術、分散インテリジェンス技術、機械学習、ディープラーニング、映像解析技術等の独自技術により、IoT 時代に相応しいコンピュータ、ネットワークアーキテクチャを確立することを目指している。Preferred Networks では、Preferred Infrastructure が NTT の研究所と共同開発したビッグデータ処理基盤 Jubatus を IoT に対応させ、小売、広告、自動車、安全・防犯、ネットワークセキュリティ・帯域制御、製造、公共交通機関、ヘルスケアの分野で外部企業と共同開発・事業提携を進めることを公表している。

⑬ リクルート

リクルートホールディングスは、2015 年 4 月に新規事業開発機関 Recruit Institute of Technology を再編した人工知能研究所の設置を発表¹⁰⁶した。同研究所では、人工知能分野の世界的権威 Tom M. Mitchell 氏（米 Carnegie Mellon 大学教授）、Oren Etzioni 氏（Allen Institute for Artificial Intelligence CEO 元・米 Washington 大学教授）、David M. Blei 氏（米 Columbia 大学教授）をアドバイザーに迎え、人材領域・販促領域を中心としたグローバル規模の人工知能に関する研究を行い、産業界と生活者を結びつけるマッチングサービスの実現を目指している。また、同社では、米 Massachusetts Institute of Technology メディアラボとの共同研究、米 Stanford 大学と自然言語処理に関する共同研究を行う他、人工知能分野の研究人材の採用を積極的に行い、世界各国の有識者の指導のもとでの研究推進に着手している。

¹⁰⁴ 第 6 節に Preferred Infrastructure 岡野原氏のインタビューを掲載した。

¹⁰⁵ 株式会社 Preferred Infrastructure 株式会社、Preferred Networks 設立 (<https://preferred.jp/news/2835/>)

¹⁰⁶ 株式会社リクルートホールディングス、ホールディングスプレスリリース
(http://www.recruit.jp/news_data/release/2015/0415_15754.html)

⑭ 国立情報学研究所

国立情報学研究所（大学共同利用機関法人情報・システム研究機構）では、細分化された人工知能分野の再統合を企図した研究活動「ロボットは東大に入れるか」プロジェクト¹⁰⁷を進めている。同プロジェクトでは、2016年度までに大学入試センター試験で高得点マーク、2021年度に東京大学入試の突破を目標に置き、2014年には、全国の私立大学8割にあたる472大学の合格可能性が80%以上のA判定の結果を出すなど人工知能研究の発展と同時にその可能性を広く社会に示している。同プロジェクトには、国立情報学研究所の他、大学、ICT企業等が参加している。

¹⁰⁷ 国立情報学研究所、ロボットは東大に入れるか（<http://21robot.org/>）

4.3 IoT 時代の情報処理基盤、人工知能の展望、課題

(1) IoT 情報処理基盤の展望と課題

① 活発化する IoT 情報処理基盤提供の動き

4.1 節で示したように、IoT の進展を見込み、主要な ICT 企業は IoT 向け情報処理基盤をビジネスの主戦場と捉え、その提供に力を入れている。IoT の活用を進める企業では、IoT で処理する情報の量や処理のリアルタイム性、分析技術の深度等に応じて必要となる情報処理基盤の選択・導入を進めていくと見られる。また、IoT の情報処理基盤の導入にあたっては、IoT に係るデータ管理の仕組みも重要となるため、体系的な機能の観点と同時に、データマネジメントの機能が情報処理基盤の選択・導入における差別化要素になると見込まれる。

ICT 企業が IoT 向け情報処理基盤の提供を新たなビジネス機会と捉える一方、IoT 活用を進める企業は、IoT 向け情報処理基盤を自らの競争力強化のための新たな事業基盤と捉えている。そのため、特定分野の IoT 向け情報処理基盤を自ら開発提供する動きも見られる。産業機器の製造を担う GE は、Industrial Internet の実現に向けた取組を進め、産業機器を対象とした IoT 向け情報処理基盤である GE Predix¹⁰⁸ を提供することで製造機器分野における IoT 関連ビジネスの覇権を狙っている。こうした動きの背景には、産業機器や自動車をはじめ、膨大なデバイス（モノ）がネットワークにつながる中、今後、ハードウェア（モノ）単体からソフトウェア・サービスを融合したビジネスが成長すると見込まれ、その事業基盤として IoT 向け情報処理基盤が不可欠であることが挙げられる。今後、産業機器分野以外でも、様々な分野において IoT に関連するビジネスの覇権を狙った IoT 向け情報処理基盤の提供の動きが登場する可能性もある。

また、IoT 向けの情報処理基盤をクラウドサービスにより提供する動きも見られる。例えば、米 Jasper Technologies¹⁰⁹は、大手企業を含む 2,000 社以上の企業に IoT 向けの情報処理基盤をクラウドサービスとして提供している。また、ベンチャー企業の米 Mode¹¹⁰は IoT デバイス用のバックエンドシステムを BaaS (Backend as a Service) として提供し、接続 IoT デバイス数が少ない場合、無償利用できるため、独自の IoT 向けの情報処理基盤を持たない/持てないベンチャー企業等によるトライアル的な活用等が可能である。今後、IoT 向け情報処理基盤は様々な形態で提供されると予想され、IoT の活用を進める企業が導入する IoT 向け情報処理基盤の選択肢が増える見込まれる。

② 重要となる標準化・相互接続性

IoT に係るビジネスにおいては、多様な機器の IoT 向け情報処理基盤への接続が求められる。そのため、機器と情報処理基盤間のデータの送受信に係る接続の標準化が重要となる。こうした標準化の動きは第 1 部 3.1 節に示したとおりである。また、IoT に係る

¹⁰⁸ GE Predix については、第 1 部 2.2 節の GE 「Industrial Internet」参照。

¹⁰⁹ Jasper Technologies (<https://www.jasper.com/>)

¹¹⁰ MODE (<http://www.tinkermode.com/>)、Mode, Inc. の創業者/CEO は上田学氏。

ビジネスでは、業界横断的なデータの接続が新たなビジネスを生み出す可能性もある。そのため、異なる IoT 向け情報処理基盤同士の接続の必要性が生じると考えられる。昨今の急速な IoT に係るビジネスの立ち上がりを踏まえると、こうした標準化や情報処理基盤間の相互接続性確保に関する取組みが遅れると、円滑な機器接続の障害、IoT 向け情報処理基盤の乱立等により、将来的に IoT に係るビジネス発展の阻害要因になる可能性もある。

③ ソフトウェア比重の増大

IoT においては、自動運転車、ウェアラブルデバイス、センサ等の最先端のデバイス等のモノに目が向きがちであるが、それらの最先端デバイスの機能はソフトウェアにより実現されている。また、IoT の活用における付加価値は、ソフトウェアにより実現された機能とネットワークで繋がった IoT 向けの情報処理基盤により生み出される。そのため、モノのインターネットである IoT の時代においては、従来にも増してソフトウェアの重要性と比重が高まると見込まれる。モノの機能がソフトウェアにより実現されれば、ネットワークの構成や制御がソフトウェアにより実現されるソフトウェアディファインドネットワーク（Software Defined Network: SDN）と呼ばれるように IoT 時代のモノはソフトウェアディファインドデバイス（Software Defined Device: SDD）という言い方で呼ばれ、モノの機能がソフトウェアによりダイナミックに制御される時代が来るのかもしれない。

④ セキュリティへの対応

IoT 時代においては、モノや情報が繋がるため、これまでにはない利便性やサービスの高度化、効率化といったメリットが生み出される。その一方、セキュリティリスクやプライバシーリスク等が取り扱う範囲が広がることが予想される。そのため、IoT 向け情報処理基盤においてもセキュリティに係る懸念に対応していくため、仕組みや機能が必要となる。IoT の推進においてもセキュリティの確保が最大の障害であるとの意見もある中、IoT のセキュリティの全ての課題が ICT 技術だけで解決されるわけではないが、IoT 向けの情報処理基盤においては、デバイス、ネットワーク、クラウド、その上で稼働するソフトウェアやアプリケーション、ストレージ・データ管理等において適切なセキュリティ対策とそのための技術開発等の取組みを進めていくことが求められる。IoT 時代のセキュリティについては、第 2 部 5 節を参照されたい。

(2) 人工知能の発展への期待と課題

① 人工知能の応用分野の進展

IoT の時代には、モノの情報がインターネットに繋がり、膨大なデジタルデータが流通する。その膨大なデータから付加価値を生み出すには、新たな情報処理基盤と情報分

析技術が不可欠となる。特に、IoT 分野では、多種多様な膨大なデータの分析が必要となるため、手作業的な情報処理や伝統的な分析技術の適用には限界がある。こうした限界に対し、ディープラーニング等を始めとする人工知能関連の最新技術は、コンピュータ“自ら”（人工知能）が、データの中に存在する「特徴量」や「特徴表現」を学習することに成功し、分析者の知見や経験に依存する従来の分析技術の限界をブレークスルーする可能性を示している。こうした技術が登場した背景には、人間では処理できない多種多様かつ膨大なデジタルデータの分析の必要性が顕在化したことに併せ、インターネットの進展や IoT の登場により人工知能の学習に必要な膨大なデータの収集が可能となり、その学習に必要な情報処理を行うための強力なコンピュータ利用環境が実現されたことが挙げられる（図 4-4 参照）。IoT の拡大・進展やコンピュータ性能向上を考えると、その環境が一層充実すると予想され、人工知能の進化・進展も加速すると予見される。

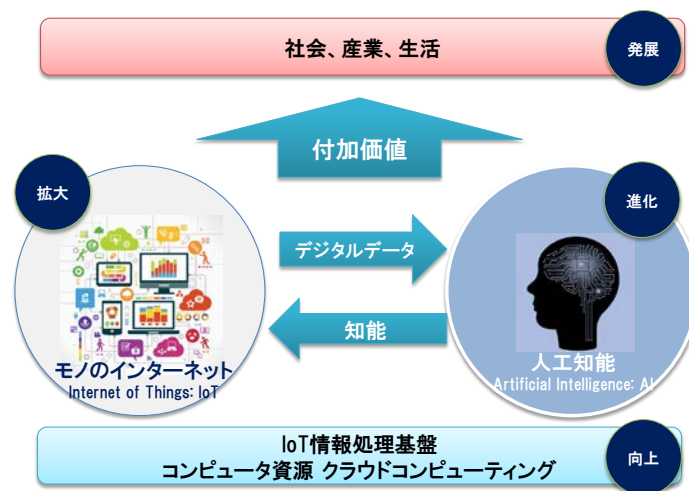


図 4-4 IoT と人工知能の進化・発展 ¹¹¹

（出所）みずほ情報総研作成 ¹¹²

人工知能研究者である東京大学の松尾氏は、「特徴表現学習の一つの手法」としてのディープラーニングがすごいというよりも、特徴表現学習ができるようになったその先に広がる人工知能の可能性 ¹¹³の広がりの大きさの重要性を指摘している。同氏は、今後の人工知能の技術発展と応用の可能性について、画像・音声認識や診断に続き、行動予測や環境認識による防犯・監視、自律的な行動計画による自動運転や農業の自動化や物流の高度化等を挙げ、将来的には、家事・介護、教育、秘書、ホワイトカラー支援を人工知能の応用分野に広がる可能性に言及している。

¹¹¹ IoT の拡大・発展と人工知能の進化は一つのエコシステムを形成している。

¹¹² IoT のイメージに関する図の出所は、European Commission, Digital Agenda for Europe The Internet of Things (<http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/internet-things>)

¹¹³ 松尾豊、「角川 EPUB 選書 人工知能は人間を超えられるか ディープラーニングの先にあるもの」（2015）（KADOKAWA）

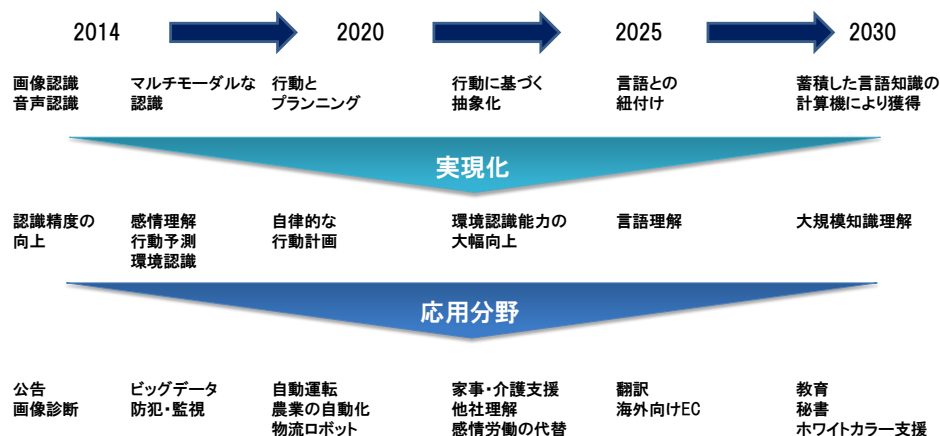


図 4-5 人工知能の技術進展と応用分野の広がり

(出所) 総務省情報通信政策研究所「インテリジェント化が加速する ICT の未来像に関する研究会
東京大学松尾豊氏説明資料をもとにみずほ情報総研作成

IoT と人工知能の組み合わせは、デジタル空間の中で進展してきた情報通信技術の活用をモノと人を含めた実世界における情報通信技術の活用へと拡張するものである。こうした発展は、従来の情報通信技術が創りだしてきた情報通信社会の姿を超えて、人、モノ、情報の全体がネットワーク化され、情報通信技術により最適化された新たな情報通信社会を創り出す可能性が高い。

人の行動や生活の利便性を高め、産業活動を効率化してきた情報通信社会から、IoT と人工知能の組み合わせにより、人の行動や生活の利便性を高め、産業活動の効率化を図るだけでなく、その質を本質的に高め、産業活動が新たな付加価値を生み出す情報通信社会の新たな時代の到来が近づいている。

② 人工知能の進展に関する課題

人工知能の技術進展と応用分野の広がりへの期待が高まる一方、人工知能の進展に対するリスクや課題を指摘する意見もある。以下には、人工知能の発展に係る懸念として、下記の 4 点を取り上げる。

1) シンギュラリティ（技術的特異点）の可能性

第 1 の懸念は、人工知能が人類の知能を超える人工知能に関するシンギュラリティ（技術的特異点）に対する懸念である。

半導体の性能向上が 1 年半ごとにその処理速度と記憶容量を 2 倍ずつ高めるムーアの法則に従うと想定すると、今後、コンピュータは知能水準を上げ、2045 年頃には人間の知能を超える可能性が予見されている。他方、生物進化のスピードは、その速度に比べ相対的に遅いため人類がコンピュータと競うことは難しく、人工知能の進化により、人類の地位がコンピュータに奪われる懸念を指摘する意見がある。こうした懸念は、過去

の産業革命や技術革新が登場した際に、新たな技術や機械が、仕事や活動を脅かす¹¹⁴といった懸念に近い。しかしながら、こうした人工知能の進展に対する懸念を主張する見解においては、人工知能の進化が、従来の技術革新と異なる点として、従来の技術革新が、人類が制御可能な技術のイノベーションであったのに対し、人工知能の場合、コンピュータ自体による自律的な知能水準の進化が想定されるため、人類による制御が難しい技術となる可能性がある点を挙げている。他方、こうした懸念に対し、現状の人工知能の能力は人間を脅かす水準になく、過度な危険性を懸念することは人工知能の研究を阻害するとの意見もある。人類は過去も技術的なイノベーションによる社会変革を経験しており、イノベーションを社会として受け入れることで、経済や社会の発展を図ってきた歴史を持つ。そう考えると、ディープラーニングという革新的な人工知能の実用性と新たな発展の可能性が具現化しつつある中、人工知能の活用に関するリスクや課題を整理した上で、人工知能を経済や社会の発展に効果的に生かしていく方策を考えることが必要であろう。

2) 人工知能の産業競争力に対するインパクト

第2の懸念は、人工知能の産業競争力に対するインパクトの大きさへの懸念である。

人工知能の技術進展と応用分野の広がりが見込まれ、人工知能の技術水準が産業競争力に直結すると予見される。今後、IoT が本格化する中、膨大なデータから付加価値を生み出す人工知能が、インターネットビジネスのみならず多くの産業の産業競争力の要になることが予見される。

前出の松尾氏は、Google や Facebook が人工知能の学習精度と売上増加が直結するビジネスモデルを構築していることへの危機感を指摘している。また、米 GE が進めるインダストリアル・インターネット構想では、産業機械・装置のモノのデータの獲得の仕組みづくりを進めており、今後、それらのデータから付加価値を生み出す分析技術として人工知能が活用されると予想される。我が国でも近年、様々な産業分野で人工知能に関する研究開発が活発化しつつあるが、諸外国による人工知能の様々な分野での実用化に向けた取組みに出遅れれば、モノを含めたデジタルデータからの付加価値創出というIoT 時代の産業競争で後れを取ることが懸念される。そのため、我が国においても産業競争力強化の観点から、人工知能の技術開発と産業応用等の実用化に対する取組み¹¹⁵を急ぐことが求められる。

¹¹⁴ Carl Benedikt Frey, Michael A. Osborne は、「THE FUTURE OF EMPLOYMENT: HOW SUSCEPTIBLE ARE JOBS TO COMPUTERISATION?」(Oxford University) (2013) の中で、人工知能による置き換えを踏まえた上で、将来的になくなる職業と残る職業のリストを提示している。

¹¹⁵ 経済産業省 産業構造審議会 商務流通情報分科会情報経済小委員会では、2015年5月に「CPS (Cyber Physical System) によるデータ駆動型社会の到来を見据えた改革」と題する中間とりまとめを公表した。同とりまとめでは、IoT の進展や人工知能の高度化・自律化等による産業構造・経済社会全体の変革を踏まえ、産業競争力強化に向けた施策が打ち出されている。

3) 過熱する人工知能に関する研究開発

第3の懸念は、最近の人工知能に関する研究開発の過熱への懸念である。ディープラーニングという新たな技術の登場と画像や音声認識分野での実用化の成功により、人工知能の様々な分野への適用による可能性への期待が高まっている。そのため、世界中の研究機関や情報通信関連企業や研究開発ベンチャー企業等による人工知能に関する研究開発が過熱している。人工知能に関する研究開発を振り返ると、人工知能はコンピュータが人間の知能を実現するという重要かつ夢のあるテーマであるゆえに、新たな技術が登場する度に、その技術に過度ともいえる期待が寄せられ、その実用の限界に落胆し、人工知能に関する研究全般が下火となってきた経緯がある。現在のディープラーニングという新たな技術も、現状、解決できていない課題もあり、今後何かしらの限界が出てくる可能性がないとはいえない。そのため、ディープラーニングを含め人工知能の可能性を冷静に受け入れた上で、実用性を検証していくとともに、一過性ではない人工知能に関する着実な研究開発を進めるという姿勢も重要であろう。

4) 人工知能の活用に関する社会的受容

最後に取り上げる懸念は、人工知能活用の社会的受容に対する懸念である。

人工知能は、今後、人による認識や判断の行為の一部を代行する機能となる可能性がある。例えば、IoT 分野の一つである自動運転¹¹⁶の運転判断に人工知能が利用されると仮定した場合、人工知能は、運転者に代わり、“意外”な進路変更の判断¹¹⁷をするかもしれない。その場合、自動走行車に乗った人は、その判断が信頼できるかに迷うであろう。仮に、人がデータや知見や経験に基づき判断してきたことを人工知能に置き換えた場合、如何に人工知能の性能が高いとしても、判断ミス（学習不足）が生じる可能性やその判断は正しいとしても利用者が納得・理解できない可能性もあり、人工知能による判断に対する漠然とした不安が残存すると考えられる。そのため、人工知能の利用においては、人工知能の技術進展を取込みつつも、その活用の限界を示すとともに、その利用により獲得する利便性や効率性等の便益と利用により発生するかもしれない万が一のリスク（例えば、人的影響や経済リスク）を考慮して、人工知能による判断への依存度を変える等、人工知能の活用方法の使い分けのルールがないと活用が広まらない可能性もある。人工知能の判断ミスは、人のミスと同じように取り扱えるのであろうか。人工知能の進展と広がりに合わせて、人工知能の現実世界の中での活用方法や理解¹¹⁸、つまり人と人工知能との上手い付き合い方¹¹⁹を、人工知能を利用する人の立場から考える必要

¹¹⁶ 自動運転に関する動向に関しては、第2部1.3節を参照されたい。

¹¹⁷ 意外な進路変更は、人が気づきにくいデータも考慮した合理的な判断である場合もあれば、学習として考慮されていない予想外のデータによる判断ミスの場合などが考えられる。何れの場合も、自動運転車に乗った人は、何故人工知能が意外な進路変更するのか理解できず、漠然とした不安を感じるであろう。判断ミスを犯す確率が自分より低くても、自分に理解できない判断に不安を感じるのは多分に心理的要因によるのかもしれない。

¹¹⁸ 人と人工知能の間のコミュニケーションも重要な役割を果たすと期待できる。

¹¹⁹ 米 Stanford 大は、人工知能による生活、仕事、コミュニケーションの変化を研究する One Hundred Year Study on Artificial Intelligence (AI100) を立ち上げている。米 Stanford 大、AI100 (<https://ai100.stanford.edu/>) また、米

があるのかもしれない。

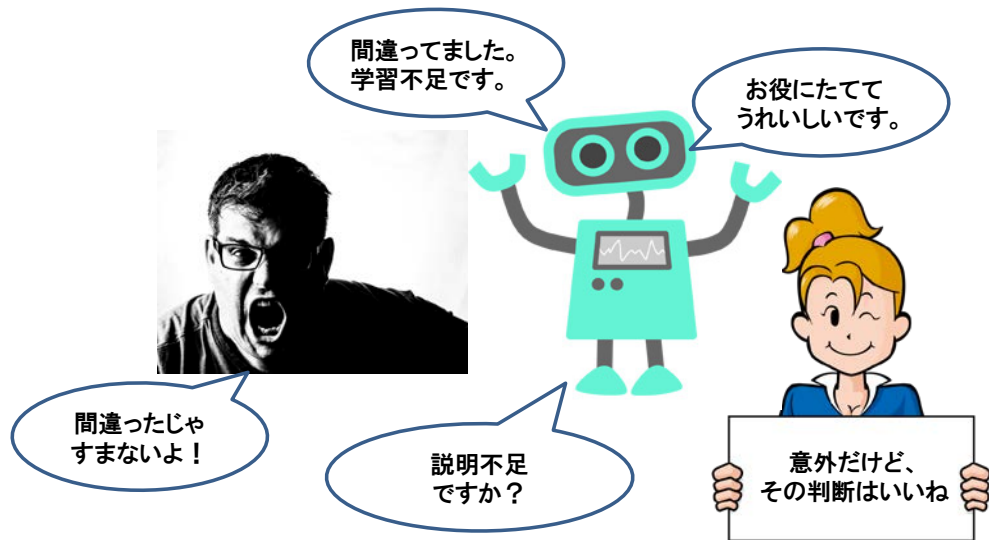


図 4-6 人工知能による判断の理解と受容

5. IoT時代のセキュリティ

ネットワーク通信の高速化、センサ技術の高度化、技術を組み込んだ製品の低廉化などの様々な要因を背景に、IoT（Internet of Things、モノのインターネット）が注目されている。2015年の1月にアメリカのラスベガスで開催された世界最大級のIT&家電ショー2015 International CESや、3月にスペインのバルセロナで開催されたモバイル通信機器の国際展示会 Mobile World Congress 2015において、IoTはテーマとして掲げられており、その勢いは留まるところを知らない。

現在、全世界でインターネットに接続されているデバイスは約90億台。この数字は現在の世界人口である約70億人よりも多い。そして、自動車や家電に通信端末を組み込んだ、いわゆるIoT（Internet of Things）にかかわる「モノ」の数は、2015年で250億、2020年には500億に達すると予想されている。

来るべきIoT時代では、あらゆるモノや情報が繋がり、様々なサービスが提供されていくことが想定されている。「サービス」であるため、利便性に目が行きがちだが、その利便性とトレードオフの関係にあるのが「セキュリティ」である。前述の「Mobile World Congress 2015」において、VodafoneのChief ExecutiveであるColao氏は、IoT時代で重要となるのはセキュリティの課題であると述べている。

すでに車載の組み込みOSがハッキングされたり、防犯カメラの制御システムが乗っ取られて画像が盗まれたりしている。本節では、IoT時代の「セキュリティ」に注目し、IoTが生む新たな脅威とその対策について考察する。

5.1 IoTにおけるセキュリティの必要性

(1) セキュリティの現状

2014年7月にHewlett-Packardが、テレビ、Webカメラ、家電コントロール、玄関ドアロックなどの既に販売され普及度合いの高いIoT製品10種類のセキュリティに関する調査結果を発表している。調査には同社のセキュリティサービス「HP Fortify on Demand」が利用され、調査対象製品の70%にセキュリティ問題が見つかり、1製品あたり25件の脆弱性があったと報告している。また、IoT製品10種類の他に、クラウドアプリケーションやモバイルアプリケーションも調査対象となっており、半数のIoT製品のモバイルアプリケーションが、暗号化せずクラウドやインターネット、ローカルネットワークと通信していると併せて報告している。これらを踏まえると、現状セキュリティについて、十分に検討されているとは言えない。

また、調査では、「Privacy concerns」、「Insufficient authorization」、「Lack of transport encryption」、「Insecure web interface」、「Inadequate software protection」の5種類の脆弱性を挙げている。各脆弱性の具体的な内容は以下の通りである。

脆弱性	内容
Privacy concerns	消費者の名前、E メールアドレス、住所、生年月日、クレジットカード情報、医療情報といった個人情報の収集に関するプライバシー問題が 80%の製品に見つかった
Insufficient authorization and authorization	パスワードの長さや複雑さに関する要求がなく、例えば、「1234」や「5678」などの安易なパスワードが利用できてしまう問題が 80%の製品に見つかった。
Lack of transport encryption	インターネットとローカルネットワークとの通信が暗号化されていない製品が 70%、モバイルアプリケーションが暗号化せずクラウドやインターネット、ローカルネットワークと通信している製品が 50%あった。
Insecure web interface	クロスサイトスクリプトの受け付け、非力なセッション管理、脆弱な証明書の標準設定、証明書情報の平文通知といった不備が 60%の製品に見つかった。
Insecure software and firmware	ソフトウェアアップデートをダウンロードする際に暗号化を使っていない製品は 60%あった。いくつかのダウンロードにおいて中断、抽出、変更ができるような状態であった。

(出所) Hewlett-Packard 「Internet of Things Research Study」をもとにみずほ情報総研和訳

Hewlett-Packard は、今後インターネットなど他と接続する IoT 製品は増え続け、比例してセキュリティ上の懸念も指数関数的に増え続けるとの見通しを示している。また、IoT 製品は消費者にとっての利便性の向上をもたらす一方で、DoS 攻撃、パスワードやクロスサイトスクリプティングの脆弱性を突いた攻撃などの危険にさらされる可能性の増加を指摘している。そのため、IoT 製品が繋がることを考慮すると、IoT 製品のセキュリティリスクを理解することが最も重要であると結んでいる。

(2) セキュリティ被害や攻撃などの具体事例

前述の通り、IoT がもたらす利便性に着目した製品やシステムがリリースされているが、セキュリティリスクについて十分に検討されていないのが現状である。セキュリティリスクについて検討されていない製品やシステムを使用した場合、実際にどのような事象、被害が起こるのか。スマート家電、自動車、医療など一例ではあるが、以下にセキュリティ被害や攻撃などの具体事例を示す。

① 自宅ネットワーク

(カスペルスキー・ラボ デイヴィッド・ジャコビ氏による発表¹²⁰)

¹²⁰ (出所) 株式会社 KADOKAWA、ASCII.jp (<http://ascii.jp/elem/000/000/971/971034/>)

自身の自宅ネットワークに接続されているデバイスを調査した結果、NAS（ネットワーク接続型ストレージ）2台、スマートテレビ、衛星放送の受信機、インターネットプロバイダーのルーター、ゲーム機、ネットワークプリンターなど、11の製品が接続されていた。それらのデバイスの多くは製造中止、ファームウェアの自動更新に非対応あるいは、更新が提供されていないなど課題を抱えていることが判明した。

インターネット対応のデバイスが増加し、攻撃者のターゲットとなり、簡単にハッキングできる可能性がありながら、対策が用意されていないのが実態として、下記の製品の実際の脆弱性を例示している。

- NAS（ネットワーク接続型ストレージ）

リモートからルート権限でコード実行可能な脆弱性を発見した。この脆弱性を利用すれば、たとえNASがプライベートIPアドレスからの接続のみを受け付ける状態であったとしても攻撃可能である。攻撃は、たとえばSNSのメッセージやメールなど何かしらの方法でリンクをクリックさせる方法が有効である。ユーザーが何も分からずにクリックするとJavaScriptコードが実行され、プライベートIPアドレスをリストアップする。その後Webサーバーを探し、どのデバイスが接続されているかを調べる。あとは、そのデバイスのプライベートIPアドレスにエクスプロイトコードを送り込み、C&Cサーバーとの通信を開始する。

- スマートテレビ

サムネイルやウィジェットの最新版がセキュリティなしでベンダーサイトからダウンロードされていた。NASと同様の攻撃手法を使ってデバイスのローカルファイルを洗い出し、脆弱な部分を探すことが可能である。

② ウェブカメラ

（朝日新聞による発表¹²¹）

朝日新聞は、IPアドレスを無作為にたどる方法による独自調査を行い、インターネットでつながるウェブカメラにパスワードを設定する等のセキュリティ対策がとられていない場合が、調査対象の3割以上あり、商業施設や住宅の映像・音声を第三者がネット上で見聞きできることがわかった。

それらのウェブカメラは、防犯や監視用として設置され、レンズが向けられている対象と状況から書店や美容院、飲食店、スーパーなどとみられた。事業所の従業員控室、幼い子どもたちがいる託児所のようなスペースもあった。

ウェブカメラには一般にパスワードの設定機能がついているが、設定されていない購入

¹²¹（出所）株式会社朝日新聞社、朝日新聞（<http://www.asahi.com/articles/ASH3654C1H36PTIL00W.html>）

時の状態で使われているケースも少なくないとみられる。

③ インスリンポンプ

(研究者 ジェローム・ラドクリフ氏による発表¹²²⁾)

ラドクリフ氏は、糖尿病患者の治療に用いるインスリンポンプの制御システムに脆弱性を突いて侵入し「致命的な攻撃」を仕掛けることができることを発表している。具体的には、インスリンを送り込むポンプの無線機能に脆弱性が存在し、それを突くことでポンプ自身を停止においやったり、投与するインスリンの量を外部から操作したりすることが可能であることを指摘している。

同氏は、ハッキング対策検討のために、インスリンポンプ及び CGM (continuous glucose monitors) センサ¹²³ について、以下の情報収集を行っている。

- ・対象デバイスのマニュアルからの情報を収集し、マニュアルの付録部分にデバイスの詳細情報 (パケットのサイズや伝送間隔等) や Federal Communication Commission (FCC) ID を取得
- ・特許庁 Web site より機器製造業者を検索し、デバイスの特許情報からデバイスの機能情報や構成情報の詳細情報を収集

その結果、CGM センサでは容易に通信情報の解読が可能であり、インスリンポンプにおいても機器のシリアル番号を取得できれば無線通信により誤った命令を実行が可能であり、CGM センサ、インスリンポンプにおいて、理論上、以下の攻撃が可能であることを発表している。

● CGM センサ攻撃例

- ・実際のデータと違う血糖値データを送ることで、インスリン投入量の変化を誘発
- ・正しい血糖値データ受信を妨害し、別のデータを送信

● インスリンポンプ攻撃例

- ・ワイヤレス機器を用いて、設定の書き換えを行い、意図しない動作を誘発 (インスリン投入のタイミングや一回当たりの投入量の変更等)

¹²² (出所) 独立行政法人情報処理推進機構 (IPA)、「医療機器における情報セキュリティに関する調査～医療機器のセキュリティの現状を整理」(<https://www.ipa.go.jp/files/000038223.pdf>)

¹²³ CGM (continuous glucose monitors) : 継続的に糖濃度を計測するシステム

④ 自動車（事件・事故）¹²⁴

2010 年 3 月、米国テキサス州オースティンで、突然 100 台以上の自動車のエンジンがかからない、警告ホーンが鳴り続け止められなくなる事件が発生した。

これらの自動車は返済が滞ったユーザーに自動車を利用させなくするために遠隔イモビライザーが装着されていた。この遠隔イモビライザーはその自動車販売店の従業員が制御できるようになっており、従業員が操作用のパソコンを使って Web サーバーにアクセスすれば集中的に停止処理を操作できた。警察によれば、解雇された従業員が、別の従業員の ID とパスワードを入手して不正に操作したものとされている。

この事件では、利用者が自動車のキーを持っていたとしても警告ホーンの鳴動を止められない、エンジンをスタートできないため自動車を移動できず、原因がわからなかったため、自動車から鉛蓄電池をはずしてレッカー車で移動することになった。

⑤ 自動車（ワシントン大の Kohno 氏らによる発表¹²⁵）

Kohno 氏らは、実証実験に基づく論文「Experimental Security Analysis of a Modern Automobile1」において、CAN（Controller Area Network）に関する以下の課題を指摘している。

- ・ CAN 通信は同一バス上に同報する方式のため、盗聴、解析が容易。
- ・ 認証フィールドとソースアドレスがなく、なりすましが容易。また、下記に示した CAN を利用した車載 LAN 機器の実装上の課題も存在。
- ・ 一部の ECU が使うチャレンジ用メッセージ長が 16 ビットと短く、解読が容易
- ・ CAN バス全体の通信を停止させる「通信停止」メッセージは、走行中には無視しなければならないが、車輪が回っていても通信を停止させることが可能。
- ・ 走行中の ECU 上のソフトウェア書換えは禁止されているはずであるが、書換えモードに入ることが可能。
- ・ 追加で装着されていた米国大手のテレマティクス端末は、認証メッセージのなりすましを防ぐためにチャレンジとレスポンスを毎回変更するはずが、固定値を利用。
- ・ OBD-II に接続した実験用の PC から上記のテレマティクス装置にチャレンジとレスポンスによる認証手順なしで、テレマティクス装置の組込みソフトウェアを書換え可能。

¹²⁴ 独立行政法人情報処理推進機構（IPA）、「2010 年度自動車の情報セキュリティ動向に関する調査報告書～6 件のセキュリティ上の脅威（問題点）を分析～」(<http://www.ipa.go.jp/files/000014119.pdf>)

¹²⁵ 同上

⑥ スマート家電 1 (事件・事故) ¹²⁶

米 Proofpoint は、2014 年 1 月にテレビや冷蔵庫などのスマート家電から、大量の不正メールが送信されたことを確認し、「モノのインターネット」を利用したサイバー攻撃の最初の事例の 1 つだと述べている。

Proofpoint によると、10 万台以上のスマート家電がハッキングされ、75 万通以上のフィッシングメールやスパムメール送信に使われた。乗っ取られたスマート家電には、家庭内ネットワークのルーター、マルチメディアセンター、インターネットテレビ、そして少なくとも 1 台の冷蔵庫が含まれるという。

攻撃が発生した期間は 2013 年 12 月 23 日から 2014 年 1 月 6 日で、世界中の企業および個人に対して、1 日平均 3 回、大量の不正メールが一斉送信された。全不正メールのうち 25% 以上は、デスクトップやノートパソコン、モバイル端末といった従来のデバイスを経由せず、スマート家電から直接送信された。単一の IP アドレスを発信元とする電子メールは 10 件以内であり、位置ベースで防御することは非常に困難であった。

個人情報の窃盗や企業システムへの侵入を意図しているサイバー犯罪者は、セキュリティが不十分なスマート家電の方が、パソコンやタブレット端末よりも手軽に感染して制御を奪える可能性があることに気づき、モノのインターネットを「thingbots (モノのボットネット)」に変える方法に移行し始めていると、Proofpoint は注意を促している。

⑦ スマート家電 2 (セキュリティ会社 Trustwave による発表 ¹²⁷)

セキュリティ会社 Trustwave は、LIXIL が提供する Android 向けトイレ操作アプリ「My SATIS」にハードコード化された Bluetooth PIN の脆弱性が見つかったことを発表した。脆弱性は、販売中のトイレ「SATIS」と連携に利用されている Bluetooth の PIN コードが「0000」固定で設定されているというものである。この脆弱性を利用することにより、攻撃者は「My SATIS」をダウンロードするだけで、任意の「SATIS」トイレを制御可能となる。

攻撃者は、トイレ利用者が予期しないタイミングでトイレのフタを開け閉めすることができるほか、ビデや空気乾燥機能のオン/オフも可能となる。

⑧ 制御システム (事件・事故) ¹²⁸

2011 年 2 月 6 日、ブラジル製鉄所内発電所における制御システムが「WORM_DOWNAD (ダウンロード、Conficker と呼ばれる)」に感染した。この感染により発電所のオペレーションが停止した。

¹²⁶ 株式会社日本経済新聞社、日本経済新聞 (http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK2000I_Q4A120C1000000/)

¹²⁷ 株式会社マイナビ、マイナビニュース (<http://news.mynavi.jp/news/2013/08/05/015/>)

¹²⁸ 技術研究組合制御システムセキュリティセンター (http://www.css-center.or.jp/pdf/about_CSSC_20140916.pdf)

ワームはプラントのネットワーク全体に広がり、通信トラフィックも急増したため、PLC と SCADA 間の通信が不安定となり、SCADA の機能は大部分が停止した。

復旧では、感染したマシンのワーム除去作業がされたが、感染マシンの後から出現、外部ネットワークと接続した際に、ワームの再度の起動等の事象が発生した。そのため、復旧には数カ月間を要し、その被害は甚大なものとなった。

プラントの発電能力は 550MW であり、2009 年に運用が開始されたものであった。

⑨ 航空機 (n.runs ヒューゴ・テソ氏) ¹²⁹

テソ氏によりアムステルダムで開催されたセキュリティカンファレンス「Hack-in-the-Box」で、遠隔操作による攻撃により航空機を制御するデモが実施された。

Hack-in-the-Box の Web サイトに掲載された発表によると、この攻撃では標的とする航空機に一切の物理的なアクセスは必要とせず、全て遠隔操作で航空機を制御することが可能である。カンファレンスの発表では、実験環境の仮想航空システムにより実証された。テソ氏は「航空機に搭載されたシステムは、その複雑さゆえに、一般的な脆弱性研究や悪用の手口に対して脆弱」だと解説している。

セキュリティ企業 Kaspersky Lab のニュースサービス「threatpost」によると、テソ氏は民間機で実際に使われているシステムを正確に再現した仮想環境を、全て eBay で入手したというハードウェアとソフトウェアで構築し、航空機と地上局の間でデータをやり取りするシステム「ACARS」の脆弱性を見つけ出し、仮想環境の中で実際の航空機のコードを使って飛行管理システムを乗っ取った。

攻撃の準備には航空機の位置や高度を知らせるシステム「ADS-B」も利用されている。ADS-B にはセキュリティ対策が存在しないも同然で、それなりの知識がある攻撃者なら、このシステムを使って航空管制通信を盗聴して操作し、航空機に不正コードの挿入が可能であるとテソ氏は述べている。

Forbes は、Honeywell など航空機のシステムを手掛ける各社や米連邦航空局 (FAA) が、テソ氏の攻撃は実際の航空機には、通用しないとコメントしていることを報じている ¹³⁰。

¹²⁹ アイティメディア株式会社、ITmedia エンタープライズ
(<http://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/1304/12/news037.html>)

¹³⁰ Forbes Media LLC, Forbes, (<http://www.forbes.com/sites/andygreenberg/2013/04/10/researcher-says-hes-found-hackable-flaws-in-airplanes-navigation-systems/>)

5.2 求められるセキュリティ対策

(1) IoT のアーキテクチャとセキュリティ対策

IoT 関連の製品やシステムの現状に対し、多くの有識者がセキュリティの課題、必要性について、各所で声高に主張している。しかしながら、IoT が、センサやデバイスといったヒトと距離の近いレイヤーから、クラウドのような得られた情報の処理やデータ分析するレイヤーまで幅広いため、議論の前提となるシステム構成や注目するレイヤーによって、実際のセキュリティ対策も異なる。

IoT においてどのようなモノが繋がる対象となり、どのようなセキュリティ対策がされているか俯瞰的に捉えるために、NPO 日本ネットワークセキュリティ協会（JNSA）では、2014 年に「IoT セキュリティ WG」が立ち上げている。初年度は「IoT のセキュリティ脅威と今後の動向」についてまとめており、セキュリティを考慮する際に以下のアーキテクチャモデルを参考としている。例えば、Cisco が提唱する IoE のアーキテクチャ¹³¹と比較すると表現の違いはあるものの、センサ、ネットワーク、GW、クラウドといった構成要素は類似している。

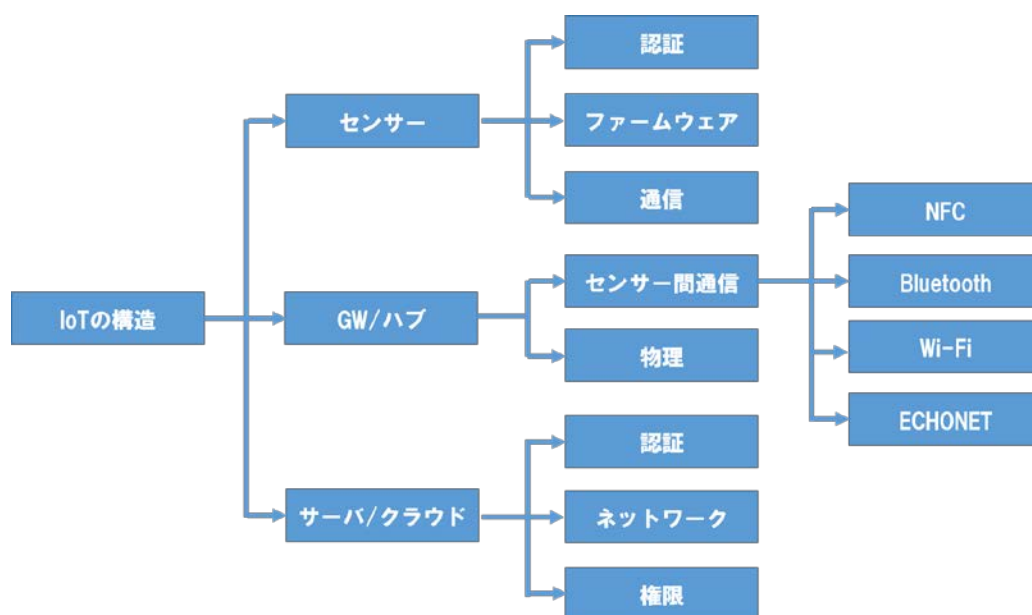


図 5-1 JNSA が発表した IoT のアーキテクチャ

（出所）JNSA「IoT のセキュリティ脅威と今後の動向」をもとにみずほ情報総研作成

脅威に関しては、OWASP（Open Web Application Security Project）の発表をベースに、下記に示す 10 個の脅威について攻撃内容や影響を含め分析している。以下にその脅威の分類を示し、一部の脅威についての詳細を紹介する。

¹³¹ Cisco の IoE アーキテクチャに関しては、第 2 部 4 節 IoT 時代の情報処理基盤を参照されたい。

表 5-1 リストアップされた 10 個の脅威

1.	Insecure Web Interface (不備のある Web インタフェース)
2.	Insufficient Authentication / Authorization (不十分な認証/認可)
3.	Insecure Network Services (不備のあるネットワークサービス)
4.	Lack of Transport Encryption (通信暗号化の欠如)
5.	Privacy Concerns (プライバシー)
6.	Insecure Cloud Interface (不備のあるクラウドインタフェース)
7.	Insecure Mobile Interface (不備のあるモバイルインタフェース)
8.	Insufficient Security Configurability (不十分なセキュリティ設定)
9.	Insecure Software / Firmware (不備のあるソフトウェア/ファームウェア)
10.	Poor Physical Security (脆弱な物理セキュリティ)

(出所) JNSA 「IoT のセキュリティ脅威と今後の動向」

表 5-2 各脅威の詳細例 不備のある Web インタフェース

脅威内容	内部及び外部ネットワークからの Web アクセス
攻撃	認証の規定値、認証の平文通信の盗聴、アカウント攻撃、内部および外部からの攻撃
懸念	アカウントリスト、ロックアウト機能無し、安易なパスワード設定。Web インタフェースは、内部からの設定を想定しているが、外部からのアクセスと同様に重要。問題は、Web インタフェースの脆弱性は、XSS のようにツールの利用等で簡単に見つけられること
技術的な影響	データ漏えい、破壊、規約準拠の欠如、サービス停止、機器の乗っ取り
ビジネスへの影響	脆弱な Web インタフェースは、危ないデバイスとなり顧客を危険にさらす。ブランドイメージの失墜となる

(出所) JNSA 「IoT のセキュリティ脅威と今後の動向」

これに対し、日本クラウドセキュリティアライアンス (CSA) の代表理事でアルテア・セキュリティ・コンサルティングの二木氏は、Cisco や JNSA とは違うアーキテクチャモデルを提示している。その特徴はネットワークレイヤーが含まれていない点である。同氏へのインタビューによれば、IoT 全体をシステムとし、役割や機能に絞った場合、ネットワークはレイヤーとして存在するものの、ネットワークは言わば土管であり、下記の図に示す各レイヤーもしくはレイヤー間の接続手段として含まれると捉えている。



図 5-2 二木氏が示す IoT のアーキテクチャ

(出所) 二木氏発表資料「IoT におけるクラウドの役割とセキュリティ上の課題」より抜粋

(2) IoT のセキュリティで考慮すべき項目

ユーザー視点に立つとセキュリティに加えてプライバシーも確保して欲しいと考えるのではない、IoT 時代の脅威や守るべき資産は何なのか、IoT 製品のライフサイクルはどのようなものなのかなど、セキュリティ対策を検討する上で、考慮すべき項目は数多い。このような状況の中、国の機関やセキュリティベンダーなどが、IoT が持つリスクについて言及し、様々な観点からセキュリティで考慮すべき項目を挙げている。しかし、これら項目に対し、現実的ではないだとか、費用対効果の分析がない、ビッグデータに関するレポートに似た内容で目新しいものではないといった見方もある。さらには、IoT 企業の技術進歩やイノベーションが阻害されるという意見もある。このような状況の下、セキュリティで考慮すべき項目、その内容について概観する。

① Symantec

技術戦略パシフィック地域情報セキュリティ担当の Mark Shaw 氏は「IoT のセキュリティ対策は、デバイス（センサ）からネットワーク、データ管理に至るまで、既存のセキュリティ対策を拡張して講じる必要がある」と主張し、IoT のセキュリティで考慮すべき項目として、以下の 4 つを挙げている¹³²。

¹³² 朝日インタラクティブ株式会社、ZDNet Japan (<http://japan.zdnet.com/article/35057835/>)

- デバイスの保護と収集されるデータのプライバシーを守ること
- デバイスの多様性と性能面での制限を考慮すること
- ソフトウェアのアップデート手段を確保すること
- 収集されるビッグデータの所有権を明確にすること

同氏は、特に「デバイスの多様性と性能面での制限」に注目している。「PC やスマートフォンであれば、デバイス自体にセキュリティソフトウェアをインストールできるが、IoT デバイスの場合、すべてのデバイスにセキュリティ機能を組み込めるとは限らない。また、デバイスの CPU やメモリ性能によっては、セキュリティ機能に制限が生じる可能性がある。このような状況においては、デバイスとサーバーとの間でやり取りする際の、データと相手先が“本物”であるかどうかを確認する対策が重要になってくる」と主張しており、暗号や署名などの重要性を説いている。

また、セキュリティに配慮した設計 (Secure by Design) は、一定のコストがかかる中、テクノロジー シニアディレクターを務める SeanKopelke 氏は、「Secure by Design だからといって、100 ドルのデバイスが 200 ドルになることはない。むしろ (Secure by Design は) 付加価値となるはずだ」と主張している。フィットネス系の IoT を管理するソフトウェアの 20%が、(セキュリティが十分に担保されていない) パブリッククラウドで管理されているとの報告もある中、同氏は「仮に生体情報などの個人情報がサイバー攻撃で漏えいした場合、その対策にかかる費用は莫大なものになる。このリスクを正しく認識することができれば、IoT 製品を提供するメーカーは、セキュリティに欠陥のある製品は販売しなくなるかもしれない」と主張している。

② FTC (米国連邦取引委員会)

2015 年 1 月に FTC (米国連邦取引委員会) は「Internet of Things —Privacy & Security in a Connected World—」¹³³と題するレポートを公表している。その中で、IoT が人々の生活にさまざまな恩恵をもたらす可能性を認めつつも、IoT に潜むプライバシーとセキュリティのリスクについて指摘し、これらの問題に企業が真剣かつ具体的に取り組むよう強く促した。このうち、1) セキュリティリスク、2) プライバシーリスク、3) リスクへの対応について概観する。

1) セキュリティリスク

3つのセキュリティリスクに関して指摘している。1つ目は、「enabling unauthorized access and misuse of personal information (権限のないアクセスと個人情報の悪用)」である。従来のコンピュータと同様、セキュリティの欠陥によって集積および通信されてい

¹³³ Federal Trade Commission, “Internet of Things —Privacy & Security in a Connected World—”
(<https://www.ftc.gov/system/files/documents/reports/federal-trade-commission-staff-report-november-2013-workshop-entitled-internet-things-privacy/150127iotrpt.pdf>)

る個人情報にアクセスされ悪用される。例えば、スマートテレビのセキュリティの脆弱性によって、アカウント情報、パスワードなどの個人情報が他者に盗まれる危険性がある。

2つ目は、「**facilitating attacks on other systems** (他のシステムへの攻撃可能性)」である。IoT デバイスは他のシステムへの DoS 攻撃を容易にする。今後 IoT デバイスの数が増えていくと、このような攻撃にさらされる危険性が高まる。これは前述のレイヤーをイメージすると理解しやすく、クラウドレイヤーのセキュリティ対策が十分だったとしても、デバイスレイヤーのセキュリティが不十分であると、IoT の系として脆弱であるということになる。

3つ目は、「**creating safety risks** (安全リスクの発生)」である。権限のない人物がセキュリティの脆弱性を悪用し、リモート操作によって機器をハッキングできたり、通信データを搾取できたりできる可能性がある。例えば、車の組み込みテレマティクスユニットに侵入し、車両を制御する、リモートにスマートメーターからエネルギーの使用状況に関するデータにアクセスし、住宅所有者が家から離れているかどうかを判断するということが起こりえる。

2) プライバシーリスク

プライバシーリスクとして、位置情報、口座番号、健康情報などの機密性の高い個人情報をインターネットやモバイル取引を通して直接収集されてしまう可能性、また時間をかけて週間や場所や物理的な状況といった個人情報をも収集される可能性がある。それによって、(1)大量かつ正確な個人情報の蓄積、分析が悪用されるというリスク、(2)企業によって個人情報を目的外利用されるというリスク（例えば、個人情報を、信用評価、保険会社の保険料の計算、企業の採用選考に用いる）、(3) 脆弱性を突いた攻撃の発生リスクを挙げている。

3) リスクへの対応

IoT が今後活用されていくためには、消費者の信用が不可欠であるとして、そのための対応を企業に求めている。具体的には、以下の 10 の対応を挙げている。

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. セキュリティを後付するのではなく、最初から機器に実装する。2. 企業はユーザーに対し消費者データの取り扱い方を保証する。3. セキュリティを維持できるサービスプロバイダの確保とセキュリティを維持していることの監視を行う。4. セキュリティ対策がいくつかのレベルで検討され、多層防御を実装する。 |
|--|

5. 権限のないユーザーがデバイスやネットワークに保管されている消費者の個人情報にアクセスできないようアクセス制御を行う。
6. 製品ライフサイクルの間、機器の監視と修正パッチの適用を続ける。
7. データ収集、保存を最小化する。
8. 消費者は収集を拒否する機会が与えられるべきである。
9. 企業に収集するデータを制限し、一定の時間が経過した後にそれを廃棄する。
10. 消費者は企業がどの情報を収集するか、また何のために収集するかを知らされるべきである。

(出所) FTC 「Internet of Things –Privacy & Security in a Connected World–」 の内容をもとに
みずほ情報総研作成

③ クラウドセキュリティアライアンス（CSA）の場合

2015 年の 4 月に、非営利法人である日本クラウドセキュリティアライアンス（CSA）が、「Security Guidance for Early Adopters of the Internet of Things (IoT)」¹³⁴と題し、IoT において推奨されるセキュリティ対策や将来的に取り組むべき項目などを体系的にまとめたガイドを公表している。

本ガイドでは、大きく分けて以下の 7 つのセキュリティ対策が取り上げられている。

1. Analyze privacy impacts to stakeholders and adopt a Privacy-by-Design approach to IoT development and deployment (プライバシーに関する影響を分析し、プライバシーに配慮した設計を IoT の開発や方針へ適応)
2. Apply a Secure Systems Engineering approach to architecting and deploying a new IoT System. (セキュアな設計開発)
3. Implement layered security protections to defend IoT assets (段階及びレイヤー毎のセキュリティ保護の実装)
4. Implement data protection best-practices to protect sensitive information (機密情報保護)
5. Define lifecycle controls for IoT devices (IoT デバイスのライフサイクルの定義)
6. Define and implement an authentication/authorization framework for the organization's IoT Deployments (認証/認可の枠組み)
7. Define and implement a logging/audit framework for the organization's IoT ecosystem (ログ/監査の枠組み)

(出所) Security Guidance for Early Adopters of the Internet of Things (IoT)

¹³⁴ (出所) 一般社団法人日本クラウドセキュリティアライアンス, “Mobile Working Group Peer Reviewed Document” (https://downloads.cloudsecurityalliance.org/whitepapers/Security_Guidance_for_Early_Adopters_of_the_Internet_of_Things.pdf)

特に注目されるのが「3. Implement layered security protections to defend IoT assets（段階及びレイヤー毎のセキュリティ保護の実装）」で、段階及びレイヤーには、「Network Layer」「Application Layer」「Device Level」「Physical Layer」の他に、「Human Layer」が定義されている。「Human Layer」は、IoTにおけるリスクを軽減する上で最も安全にすることが難しく、グレーな領域だとされている。従来はシステムとヒトには境界があり、仮にシステムに問題があってもヒトが対処することができた。しかし、IoT 時代では、ヒトはシステムを使う側というより、IoT システムの一部として組み込まれるものとして、考え方を改める必要がある。

(3) IoT のセキュリティで考慮すべき項目

2015 年の 3 月に興味深い集団訴訟がアメリカで起きている。ハッキングされてドライバーの安全が脅かされる可能性のある車両を、安全だと保証して販売したなどの理由により、トヨタ、GM、Ford の自動車メーカー 3 社が提訴¹³⁵された。欠陥があるプログラムを組み込んだハードウェアの使用により損害を被った場合に、製造者の責任が追求される可能性があるのは理解できる。しかし、訴状からは事故などの直接的な損害は発生しておらず、直接的な損害が出ていなくても、人命に関わるような脆弱性があるものを販売すれば提訴される可能性がある。

また、訴状には「In particular, wireless technologies create vulnerabilities to hacking attacks that could be used to invade a user's privacy or modify the operation of a vehicle.（とりわけ、無線技術は利用者のプライバシー侵害や車両の操作変更にも利用可能なハッキング攻撃への脆弱性を生み出す）」という記載があり、通信による遠隔操作でエンジン始動を禁止するような機能・サービスの悪用が指摘されている。これは、あらゆるモノと通信しながら走行する自動運転車、コネクテッド・カーは、このような通信機能の悪用に関連した訴訟のリスクと常に隣り合わせであるということを暗に示しているといえるだろう。

ハッキングされるリスク対策自体が製造者責任の範疇になるのか、ソフトウェアには何らかの欠陥が含まれると理解されている状況における法的責任とは何なのか、IoT 時代における製造者の法的責任を占う意味で、今後の訴訟の展開が注目される。

¹³⁵ STANLEY LAW GROUP, “COMPLAINT FOR BREACH OF WARRANTY, BREACH OF CONTRACT, AND VIOLATION OF CONSUMER PROTECTION LAWS”
(http://www.stanleyiola.com/files/2015/03/20150310_Complaint.pdf)

5.3 IoT 時代のセキュリティに関する展望、課題

IoT に関する議論はまだ途上である。現在では、IoT がもたらす利便性やサービスの高度化、効率化といったメリットや IoT が作り出す社会像が議論の中心となっている。勿論、利便性や未来像も非常に重要だが、我々に深刻な危害や損害を与える可能性がある IoT のセキュリティリスクやプライバシーリスク、倫理等について、さらなる議論が必要ではないか。前述の Hewlett-Packard による調査結果の通り、調査対象製品の 70% にセキュリティ問題が見つかり、これらについて、十分に議論されているとは言えない。

これまでセキュリティは、後回しにされることが多かった。この背景には、セキュリティが利便性やコストとのトレードオフの関係にあり、利便性を追求する際の足枷になったり、セキュリティ対策の費用対効果が見えづらかったりといった理由があったように思われる。また、何かセキュリティ上の問題が起こったとしても、これまではインターネットの世界に閉じており、ある意味影響は限定されていたのかもしれない。しかし、前述の CSA のガイドが示すように、もはや人間は IoT システムの一部として組み込まれており、有事の際は実社会や人命にまで多大な影響が及ぶ可能性が少なくない状況なのである。そう考えると、IoT が私達の生活に組み込まれるほど、セキュリティやプライバシー、倫理を考える必要性は、否応無しに高まってくる。

セキュリティリスク等が十分に考慮されていない IoT 関連のサービス、製品、システムが世の中に展開され、その後何らかの事故が発生した際に、想定外という言葉で済ませてはならない。考慮不足は、結果的に危険を招く可能性を増大させる。したがって、IoT 時代に求められるセキュリティは、利便性などのメリットの次ではなく、同じレベルでの優先事項として検討される必要がある¹³⁶。利便性とセキュリティ対策といった両面のバランスをいかに取っていくか。それを見極めることこそが、IoT が作り出す確かな未来の原動力になるのではないかな。

¹³⁶ 政府は 2015 年 5 月に、サイバーセキュリティ戦略本部の第 2 回会合を開催し、「サイバーセキュリティ戦略(案)」を決定・公表した。その中では、「安全な IoT (Internet of Things) システムの創出」「セキュリティマインドを持った企業経営の推進」などの施策が盛り込まれている。今後、IoT に関するセキュリティ確保の具体的な議論が本格化すると見られる。(出所) 内閣サイバーセキュリティセンター、「サイバーセキュリティ戦略(案)」(<http://www.nisc.go.jp/active/kihon/pdf/cybersecurity-senryaku.pdf>)

6. IoT時代に活躍する人材

6.1 IoT時代を切り拓く人材

IoTを支える基盤として、IoTを高度に活用する技術を生み出したり、IoTを前提とした新たな製品やサービスを生み出す「人材」の観点もきわめて重要である。「IoT」という概念は、全体を総称した非常に幅広い概念であり、今後の社会において、IoTがどのように活用され、どのような付加価値をもたらすのかという点については、未知の部分も多い。しかし、未知であるということは、未だ多くの可能性を秘めており、技術やサービスの今後の具体化と発展の余地が多く残されているということでもある。

こうした状況の中で、未知の領域を切り拓く際に中核となるのが「人材」である。今後、IoTの最先端で活躍する人材がIoTをどのように捉え、その世界の中で何を実現しようとしているのかという点に着目することは、IoTがもたらす未来社会像を予測する上での非常なポイントとなり得る。また、IoT時代に活躍できる人材に求められる能力を明らかにすることは、今後そのような人材の育成に取り組む上でも重要である。

こうした観点に基づき、本節の締めくくりとして、以下には、現在IoTに関連する分野の最先端で活躍する人材に対するインタビュー結果を取りまとめるとともに、IoT時代に活躍できる人材の求められる能力を整理した。

6.2 IoT時代を切り拓く有識者へのインタビュー

今回は、IoTに関連する分野の第一線で活躍する有識者として、以下の方々に対するインタビューを実施した。

表 6-1 IoT時代に活躍する人材に関するインタビュー対象者¹³⁷

対象者	所属	分野
野辺継男氏	インテル株式会社 オートモーティブ・ソリューション・グループ チーフ・アドバンストサービス・アーキテクト (兼) ディレクター	自動運転 IT × クルマ
岡野原大輔氏	株式会社 Preferred Infrastructure 取締役副社長	人工知能×IoT
稲田雅彦氏	株式会社カブク 代表取締役	3D プリンタ IT × ものづくり

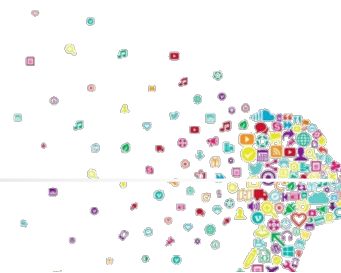
以下には、上の有識者に対するインタビュー結果を示す¹³⁸。

¹³⁷ 所属・肩書きは、2015年3月時点のもの。

¹³⁸ 各インタビューのタイトル部分の右上のイラストの出所は次のとおり。

(出所) Freepik, freepik.com (http://jp.freepik.com/free-photos-vectors/ソーシャルメディア現代人ベクトル_720280.htm)

未来社会が私たちに問うもの



インテル株式会社

オートモーティブ・ソリューション・グループ
チーフ・アドバンストサービス・アーキテクト (兼) ダイレクター
のべつぐお
野辺継男氏

1983年、日本電気(株)入社。国内外でPC関連事業を始めとする新規事業開発を担当。2000年に同社を退職後、MMORPG系オンラインゲーム会社を始めとする複数のベンチャー企業を立ち上げ、CEOとして活躍。2004年、日産自動車(株)入社。プログラムダイレクター兼チーフサービスアーキテクトとして、同社のテレマティクスサービスやEV・ITを導入。2012年、インテル株式会社に入社し、自動運転の実現に従事。2014年から名古屋大学准教授兼任。現在もクルマ×ITの第一線で活躍中。

10年で激変するITの世界

ITの世界は10年を節目として大きく変化しています。2000年頃、パソコンをネットワークにつなぐことは、まだそれほど一般的ではありませんでした。しかし、2000年前後にADSLや4G携帯が登場したことで、インターネットへの接続は一般化し、状況は激変します。2000年代後半にはスマートフォンが登場し、インターネットに接続する機器数は、爆発的な増加を始めます。2010年にはiPadが登場し、PCのみならず多様な機器のインターネット接続に一層拍車をかけました。「IoT (Internet of Things =モノのインターネット)」とは、このようにすべてのものがネットワークにつながる流れの拡大を予見して、2010年代の初めに急減に浸透した言葉です。このIoTをキーワードとして、2010年から2020年に向けて、きわめて大きな変化が起きています。

クルマ × ITという新しい可能性

IoTの世界でインターネットにつながる“モノ”とは、パソコンやスマートフォン、タブレット端末だけではなく、この“モノ”にはあらゆるものが含まれる可能性があります。現在は「クルマ」も

その一つとして有望視されています。私自身は、2000年頃、つまりインターネットが世の中で広く使われ始めた頃から、クルマをインターネットでつなぐということに強い関心を持っていました。そこから10年以上が経過して、ようやく世の中でも、この可能性が現実のものとして議論されるようになっていきます。クルマがインターネットにつながれば、実にいろいろなことが実現できるようになると思いますが、特に今、高い注目を集めているのが、人が運転しなくても走行できる「自動運転」です。今後、自動車産業を始めとする製造業は、ものづくりだけでは勝てなくなる可能性が高いといわれています。製造業においてもモノとサービスをどのように融合するかが、今後の付加価値を高め、競争力の鍵を握



るはずで。実用に向けた技術的な課題はまだ多いものの、インターネットを利用した自動運転技術などの新しいサービスは、自動車産業に限らず今後の製造業の競争力の源になると思います。

自動運転に関する課題

クルマの自動運転を行うためには、道路の情報や周囲の障害物に関する情報が必要です。これらの情報は、クルマに搭載されたセンサやカメラなどの機器を通じて収集するほか、ネットワークを通じて車外から提供される情報も活用します。このような周囲の情報を活用して、人間による運転と同等またはそれ以上に安全な運転が実現できるかどうか、自動運転に関する課題と言われているのですが、私はこれ



らの技術的な課題は、今後も指数関数的に進展するITによって直に解決されるものと考えています。先端的な技術を活用する際の課題は、「人間がその技術を活用できるか」という点にあります。技術に関する大きな課題は、最終的には「人間」の側にあるのです。自動運転についても、最終的には「人が運転するより安全と思えるか」という「人間の側の意識」が、乗り越えるべき大きな課題になるのではないかと考えています。

技術の先にある「人間」の課題

今後は、クルマに限らず、あらゆるモノがネットワークにつながることが予想されています。例えば、現在、地球上で数十億台のモバイル端末が利用され

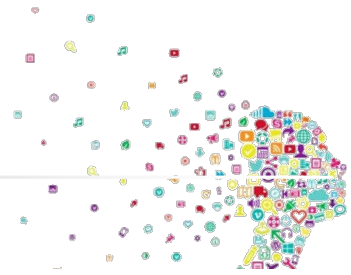
ていると言われていますが、この数が百億台を超えるのは、もはや時間の問題です。百億台規模のモバイル端末がインターネットにつながり、各端末の情報をサーバーに集めて処理できる環境が実現されれば、もはやそれは地球規模での人工知能に等しいと言えるでしょう。実際に、2045年には、人間の知能を超えるコンピュータが10万円程度で入手できるようになると予想されています。今のパソコンと同じような価格でもっと高度な知能が手に入るのです。そう考えると、2020年より先の、しかし、そう遠くない未来に、人間の仕事の多くが自動化された社会が実現される可能性も十分に考えられます。

人間の仕事が自動化された社会では「人間がやるべきこととは何か」が真剣に議論されるようになるでしょう。運転のような認識・判断を伴う作業や計算・分析作業は、人間よりもコンピュータに任せたいほうが早く確実であると思います。人間の仕事を代替できる、人間よりも優れた技術に囲まれたとき、人間がすべきことは何なのか。未来社会を生きる人間は、この問いに答えることが求められるでしょう。

コンピュータは、与えられた情報から論理的に正しい結論を出すことを得意としています。しかし、与えられた情報から「これまでとは異なるまったく新しいものを考えること」は、おそらく人間にしかできないことであろうと思います。そのため、あらゆるものが便利になった未来社会では、誰も発想しなかった新しいことを考えたり、それによって人を楽しませることや喜ばせることが重要になり、そのような能力を持った人材が活躍するようになるのではないのでしょうか。人間が持つ無限の発想力や創造性は、人間にしかない最大の武器です。これが、IoT時代、そしてその先の未来社会を生きる人間にとって、最も重要な能力ではないかと私は考えています。



人間という複雑さへの挑戦



株式会社 Preferred Infrastructure

取締役副社長

おかの はらだいすけ
岡野原大輔氏

2010 年、東京大学情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻博士課程修了、情報理工学博士。2006 年に（株）Preferred Infrastructure を 3 名で創業。Google レベルの学生が起業したベンチャー企業として注目を集める。エンタープライズ向け全文検索エンジン『Sedue（セデュー）』の開発を核に、自然言語処理／大規模データ処理系のミドルウェアを開発。2005 年度 IPA 未踏ソフト創造事業「スーパークリエータ」認定。

IoTが現実世界にもたらすもの

これまで、コンピュータの世界では、限られた資源を効率良く利用する「最適化」が進んできました。今後、IoT（Internet of Things）の進展によって、様々なモノがコンピュータを搭載してネットワークにつながると、「最適化」がリアルな現実世界においても進むようになると思います。現実世界には、もっと効率良く物事を進めることができる非効率な部分がたくさんありますが、IoT の進展によってリアルなモノがコンピュータの世界に組み込まれることで、モノの最適化が進み、現実世界の非効率な部分がさらに解消されるようになって考えています。

例えば、トランスポートーション（モノの運搬や人の移動手段）は、IoT の進展によって確実に最適化が進む分野だと考えています。小型の無人航空機（ドローン）による配達のほか、車の自動運転もその代表例といえるでしょう。運搬・移動の手段が変わると、世の中は大きく変わり、さらに便利で効率的な社会が実現するはずです。

その他には、製造業でも大きな変化が起これと考えています。モノのコンピュータ化によって、これまで以上に生産工程の無人化が進み、生産効率もさらに向上するでしょう。将来的には、工場自体の仮

想化やマルチテナント化も進み、無人の工場において、多様なリソースを最適な形で利用できるよう新しい生産形態が生まれることも予想されます。

他にも IoT の進展によって大きな発展を遂げる可能性がある分野として、バイオヘルスケアが注目されています。近年、ヒトゲノムの解析が血液検査と同じような手軽さで行えるようになりつつありますが、バイオヘルスケアの分野では、これらのゲノム情報を診療に活用できる可能性があります。例えば、個人の生活習慣に関する情報やその他の医療情報とともに、個人のゲノム情報を活用して最適な診断を行うこともいずれ可能になると思います。こうした新たな情報の活用が可能になれば、医療の分野にも革新的な変化が起こるでしょう。



無人化により仕事はなくなるのか

IoT の進展によって、私たちの生活が便利になる反面、無人化が進むと、これまでにあった仕事が無くなるのではないかと声がかかることがあります。しかし、これまでに IT が普及し、様々な作業が効率化されても、企業の仕事は減らないように、新しい技術の登場によって社会が変わっても、新しいニーズや市場が生まれ、そこに新たな仕事が発生するのではないかと思います。コンピュータに置き換えられる仕事もあるとは思いますが、その周辺で新たに必要となる仕事も多いのではないのでしょうか。

コンピュータは人間を超えるのか

IoT というキーワードとともに近年再び大きな注目を集めているのが人工知能です。人工知能は、昔から研究が続いている分野ですが、世間の期待値が高いこともあり、期待されたほどの成果を挙げられない時代が続いていました。しかし、最近になって、革新的な変化が起こり始め、人工知能に対する世間の期待が再び高まっています。



こうした期待の中で、コンピュータが自律的にその機能を拡大し、いつか人間を超えるのではないかと議論も活発に行われるようになりました。早くも 2045 年には人間を超えるという説もありますが、私は現在の延長線上では、まだコンピュータが

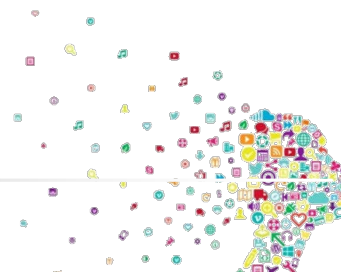


人間を超えることは無いだろうと考えています。確かに最近の人工知能は、人間に近い水準の画像・音声の認識能力を備えるまでに進化しています。しかし、人工知能が自律的に成長するためには、自分自身を超えられるような学習機能を備える必要がありますが、そのような機能を実際に実現するためには、もっと人間の知能について理解することが必須となります。現在はまだ人間の知能について不明な点が多すぎるのです。例えば、人間はときに過去のご概念や活動の枠を超える画期的なものを発想することがありますが、このような「インプットの範囲を超えるアウトプット」をコンピュータが自ら生み出すことは、現在の研究成果に基づく限り、まだ難しいと考えられます。将来の人工知能がどうなるかは未知数ですが、自律的に成長する仕組みを持った人工知能を生み出すためには、人間が学習する仕組みそのものを、もっと深く理解することが必要なのです。

人工知能の挑戦

近年、人間が行う認識や理解のプロセスの複雑さが改めて明らかになってきました。コンピュータは、人間が意識的に頭を回転させる計算処理などをたやすく行うことができますが、人間が無意識のうちに自然に行っている言語処理などをたやすく行うことはまだできません。人間が無意識に行う作業のほうが、実はコンピュータにとっては高度で難しいのです。人間と同じような認識や理解、そして、学習と成長が可能な人工知能を実現するためには、まず人間が持つ高度で複雑な知能の働きを十分に解明する必要があります。このような意味では、人工知能の今後の発展は、人間という生き物の複雑さを解明するための挑戦とも言えるのかもしれません。

未来を考えるとということ



株式会社カブク

代表取締役

いなだまさひこ
稲田雅彦氏

東京大学大学院（コンピュータ科学専攻）在学時に人工知能の研究を行うとともに、人工知能や3D インタフェースを用いた作品を発表。2009 年、同専攻を修了し、(株) 博報堂に入社。多様な業種の新規事業開発や統合クリエイティブ戦略を手がける。カンヌ、アドフェスト、ロンドン広告祭、TIAA など、受賞歴多数。2013 年、(株) カブクを設立。(株) 電通とも連携し、3D プリンタを用いた新時代のものづくりプラットフォーム「rinkak」を提供。ものづくりのまち・東大阪出身。

ものづくりに起きる「革命」

ソフトウェアの世界では、10 年以上前から、アイデアを独占せず、公開してよりよいものにするというオープンソースの考え方が浸透してきました。公開によって多くの人の力を得ることが可能になるため、優れたアイデアを独占したままとするよりも、結果的にはずっと早く、そして安く、よりよいものが生み出されるようになりました。ソフトウェアの世界は、このようなオープン志向によって大きく発展したと言えるでしょう。最近では、IoT（Internet of Things）の進展や 3D プリンタなどの新しい製品の登場によって、この考え方が、ハードウェア、すなわちモノの世界にも広がっています。

今、私が手がけているものづくりマーケットプレイス「rinkak（リンクカク）」は、これまで生産設備を持つ企業に閉じてきたものづくりを、もっとオープンにするための取り組みです。「rinkak」は、モノやデザインを考えるクリエイターとそれを生産する製造者、そしてそれを購入する買い手を結びつけるプラットフォームとして機能します。「rinkak」には、アクセサリや食器、雑貨などを始めとするクリエイターがデザインした多彩な品物の 3D データが掲載されており、買い手はこれらの 3D データを見て品物を

注文します。品物は注文を受けてから 3D プリンタを保有する製造者によって製造され、買い手に発送されます。これは、生産設備や在庫を持たずに手軽にものづくりに参加できる新しい仕組みです。このような仕組みによって、ものづくりへの参加がもっとオープンなものになれば、ソフトウェアと同じように、ものづくりの世界も大きく変わっていくはずです。ものづくりは一部の企業に閉じたものではなく、もっと多くの企業や個人が容易に参加できるものになるでしょう。

3D プリンタを活用したものづくりは、今や自動車





の車体から航空機の部品にまで及んでいます。また、細胞を素材として人工臓器を製造するバイオ 3D プリンタも登場したほか、中国では、大型の 3D プリンタを使って家やアパートを建てた事例も報道されています。今後、こうした広範な領域でもものづくりの参加者が広がっていくとしたら、これは「ものづくりの民主化」と呼ぶに相応しい革命的な変化です。この「ものづくりの民主化」によって、未来の産業の姿は大きく変わる可能性があると言えるでしょう。

不透明な時代に求められるもの

IoT が当然の基盤となるこれからの時代は、様々な可能性に満ちています。ソフトウェアとハードウェアの融合によって、これまでにない新しい製品やサービスが今後数多く生み出されるでしょう。しかし、新しいものが生まれる可能性に満ちているということは、何が生まれるか予想できないということでもあります。これはすなわち、これから先の時代が非常に不透明だということを意味しているのです。

不透明な時代には、一つの領域を極めたスペシャリストではなく、何でも幅広く対応できる「フルスタック型」の人材が重宝されます。何が求められるか分からない時代だからこそ、何でも柔軟に対応できることが重要です。特に IoT 時代には、ソフトもハードも理解できることが重要になるほか、それをビジネスに生かすために、マネジメントやファイナンス、マーケティングなどの知識も必要となります。

私自身も、サイエンス、エンジニアリング、アート、デザイン、ビジネスと、幅広い分野を経験して

きました。ややもすれば、「Master of NONE」ともとれますが、不透明な時代においては、一つの分野だけを追求するより、幅広い分野を知り、必要に応じて多様な知識を柔軟に組み合わせて活用することが重要だと思うのです。

未来に向けて「仕掛ける」

3 年先や 5 年先の近い未来を動かすことは難しいものです。近い未来については、来るべき社会を予想し、その中での自分の動き方を変える程度のことしかできません。しかし、10 年先や 20 年先の未来は、自ら仕掛けて創り出すことが可能です。過去にも様々な分野で世間のトレンドを生み出した経験がありますが、こうした経験から、未来の流れは世の中に働きかけて創っていけるものであることを、私自身、実感として知っています。

世の中に対して仕掛ける上では、タイミングが非常に重要です。機が熟していないときに新しいものを仕掛けても、世の中に受け入れられないことがあります。新しいものの浸透度を見極めながら、それが世の中全体を巻き込む大きな流れとなるよう、仕掛ける方法を考える必要があるのです。ものづくりの民主化は、10 年先を見据えた仕掛けの一つです。ものづくりだけでなく、今後も様々な分野で新しい流れを仕掛けていきたいと考えています。

新しい流れを仕掛ける際に問うべきは、「未来はどうなるか」ではありません。未来の大きな流れは、現在の小さな流れの中から創り出すことができます。どうなるかではなく、「未来をどうするか」。私たちは、この問いにこそ答える必要があるのです。



6.3 IoT時代に求められる人材とは

有識者に対するインタビューでは、IoT時代に求められる能力として、発想力や創造性のほか、技術からビジネスまでも含む幅広い分野の知識などが挙げられている。発想力や創造性は、先進的なIoT時代が到来しても、コンピュータによって代替不可能な能力である。また、技術からビジネスに至るまでの幅広い知識を習得しておくことは、何が求められるか分からない不透明な時代において活躍するための重要な条件として位置づけられている。

また、有識者が明示的に言及した能力以外にも、有識者に対するインタビューからは以下のような点を読み取ることができる。

第一に、いずれの有識者も、現在のビジネスの中で、日頃から明確な未来社会像を描いていることが注目される。最先端で活躍するこれらの有識者にとって、未来社会像は他者によって示されるものではなく、むしろ自らが他者に指し示すものである。未来に大きな可能性を与える可能性のあるプレイヤー自身だからこそ、自身の立ち位置から未来がよく見通せるともいえる。いずれにせよ、未来を遠いものとして第三者的に捉えるのではなく、現在の自分自身の立ち位置の延長線上に捉えていることは、第一に注目すべき点である。主体性を持ち、プレイヤーとして自分が関わる未来は、どこか知らないところで他者が実現する未来と比べて、よりリアリティを持って写る。今回の有識者が語る未来社会像は、そのような意味で、机上の空論ではない高度なリアリティを伴うものであった。

第二に、いずれの有識者も、技術に精通しており、その可能性とリスクや限界の双方を冷静に洞察しているという点も注目される。IoTや人工知能といったテーマに対しては、世間の期待も大きく、ときに必要以上に大きな夢や危険性が語られることもある。しかし、実際にその領域を手がけている有識者は、その技術の魅力や大きな可能性を十分に理解すると同時に、足元の現実的な課題も理解している。最先端に身を置く有識者は、技術を現実的に活用することを考え、不必要にその可能性やリスクを強調することはない。彼らにとって、技術の可能性とは、夢や憧れの対象ではなく、ビジネス上の大きなチャンスである。また、技術が持つリスクとは、恐れの対象ではなく、今後現実的に対処すべき課題である。

第三に、技術に関する知見とあわせて、いずれの有識者も「社会」や「人間」についての深い洞察力を有していることも注目される。社会や人間に対して強い関心を持たない技術者もいるが、未来社会において活躍しようと思うのであれば、その活躍の舞台となる社会の姿を理解しておくことは重要であろう。さらに、未来社会を考える上で、人

間の性質や行動を無視することは難しい。特に、技術の進歩を、人間の機能が代替・強化される歴史として捉えると、未来社会における先端的な技術を考えることは、人間の未来の姿を考えることにもつながる。このような意味で、人間や社会の行方を洞察することは、先端的な技術の動向を考える上では必須であるともいえるだろう。

上に示したとおり、有識者自身の発言からは、「自ら主体的に実現するものとして未来社会を描けること」、「技術の可能性とリスクの双方を現実的に捉えられること」、「社会や人間に対する深い洞察力を備えていること」などの要件が導き出せる。冒頭の発想力や創造性、幅広い知識とあわせて、これらの要件が IoT 時代に活躍する人材に求められるものであるといえよう。

また、IoT 時代の実現には、チップやセンサ、ネットワーク、デバイスやロボット、高度な分析や制御、そして活用するための高品質なシステムやサービス等に関する技術開発や実装に加え、その仕組みをビジネスや生活の中で、有効に活用する人材が不可欠である。こうした IoT 活用人材とも言うべき人材も IoT 時代に活躍する人材となることを忘れてはならない。

7. IoT が創り出す新たな時代の到来

従来、デジタル空間の中で進展してきた情報通信技術は、IoT と人工知能の融合により、モノと人を含めた実世界へと拡張される。その結果、人々の行動や生活の利便性が高まり、産業活動の効率化が進むのみならず、その活動の質も向上し、情報通信技術がこれまでにない新たな付加価値を生み出すことが予想される。

本レポートでは、IoT や人工知能に関する最新動向や事例を示すとともに、その将来展望や課題を整理した。最終節では、IoT や人工知能の進展によってもたらされる新たな時代の姿を、IoT の活用や産業の変化等をまとめることにする。

次頁の図 7-1 に示したように、IoT や人工知能の活用によりにおいては、移動・生活・暮らし等のあらゆる場面で、個人の利便性が高まるとともに、多様な価値観に応じたモノやサービス提供が実現され、生活の質が向上すると期待される。例えば、自動車は、運転者の負担が軽減されるだけでなく、新たなエンターテインメント空間となる。さらに、生活・暮らしにおいては、家事や育児といった日々の活動や睡眠や食生活といった 1 次活動向けの多様な製品やサービスが提供され、我々の日常生活や行動も大きく変化するであろう。

企業や産業レベルでは、ものづくりの効率性や生産性の飛躍的な向上が進むとともに、ものづくりのサービス化へのシフトやものづくりパラダイムの変化を引き起こすと考えられる。ものづくりのバリューチェーンにおいては、モノのデジタルデータの流通により、ものづくりを従来の設計、生産中心の捉え方から製品の企画や販売や利用・アフターフォロー全体で捉える動きが進むであろう。また、欧米に比較して生産性が低いとされてきた我が国サービス産業や 1 次産業に関しても、その生産性向上や高度化が進展すると期待される。そして、こうした変化は、現在の産業構造に変革を引き起こすことを予想させる。

勿論、こうした動きを牽引する IoT や人工知能の進展に向けては、本レポートで取り上げた課題を含め、様々な課題もあり、今後、実用化の進展に合わせ、新たな課題が生じるかもしれない。

しかしながら、ここで示された未来の姿は遠い未来の話といえるだろうか。IoT や人工知能の一部が既に実用化されていることを踏まえると、新たな時代の幕は既に上がり始めていると考えるべきだろう。実際に IoT や人工知能の最前線で活躍する人材は、新たな時代をやがて来るべき現実としてリアリティを持って捉え、現在からその実現に向けて果敢な挑戦を続けている。

「新たな活躍の舞台とはどのようなものになるか」、「新たな舞台において我々の生活や暮らしはどのように変わるのか」、「新たな舞台におけるビジネスの主役は誰か」、そして、「新たな舞台の主役となるために取り組むべき課題は何か」——。新たな舞台での

活躍が期待される個人や企業が行うであろうこうした議論の際に、本レポートが少しでも参考となれば幸いである。



図 7-1 IoT、人工知能が創り出す新たな時代の到来

(出所) 各種資料をもとにみずほ情報総研作成¹³⁹

みずほ情報総研 経営・IT コンサルティング部

河野 浩二

koji.kohno@mizuho-ir.co.jp

¹³⁹ IoT のイメージに関する図の出所は European Commission, Digital Agenda for Europe The Internet of Things (<http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/internet-things>)

【執筆担当一覧】

本レポートの執筆担当は下記のとおり。

はじめに

みずほ情報総研 経営・IT コンサルティング部 河野 浩二¹⁴⁰
(koji.kohno@mizuho-ir.co.jp)

みずほ銀行 産業調査部 電機・IT・通信チーム 大堀 孝裕
(takahiro.oohori@mizuho-bk.co.jp)

第1部 IoTの全体動向

みずほ銀行 産業調査部 電機・IT・通信チーム 大堀 孝裕
(takahiro.oohori@mizuho-bk.co.jp)

第2部 IoT活用、IoTを支える基盤の最新動向と展望

みずほ情報総研 経営・IT コンサルティング部

第1節 西村 和真 (kazuma.nishimura@mizuho-ir.co.jp)

第2節 豊田 健志 (kenji.toyoda@mizuho-ir.co.jp)

第3節 武井 康浩 (yasuhiro.takei@mizuho-ir.co.jp)

第4節 河野 浩二 (koji.kohno@mizuho-ir.co.jp)

第5節 築島 豊長 (toyonagata.tsukishima@mizuho-ir.co.jp)

第6節 桂本 真由 (mayu.katsuramoto@mizuho-ir.co.jp)

第7節 河野 浩二 (koji.kohno@mizuho-ir.co.jp)

¹⁴⁰情報通信政策・産業担当

【主要参考文献】

<第一部 IoT の全体動向>

Acatech, Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0

(http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf)

DKE, THE GERMAN STANDARDIZATION ROADMAP INDUSTRIE 4.0

(https://www.dke.de/de/std/documents/rz_roadmap%20industrie%204-0_engl_web.pdf)

澤田朋子「ドイツ政府の第四次産業革命 Industrie4.0」(2014)

(科学技術振興機構研究開発戦略センター)

(<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2014/FU/DE20140917.pdf>)

BITKOM, Fraunhofer IAO / Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland

(https://www.bitkom.org/files/documents/Studie_Industrie_4.0.pdf)

McKinsey Global Institute (2013), Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy

(http://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/dotcom/Insights%20and%20pubs/MGI/Research/Technology%20and%20Innovation/Disruptive%20technologies/MGI_Disruptive_technologies_Full_report_May2013)

McKinsey Global Institute (2015), THE INTERNET OF THINGS: MAPPING THE VALUE BEYOND THE HYPE

(http://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/dotcom/Insights/Business%20Technology/Unlocking%20the%20potential%20of%20the%20Internet%20of%20Things/Unlocking_the_potential_of_the_Internet_of_Things_Full_report)

General Electric (2013), Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines

(http://www.ge.com/jp/docs/1377481198526_Industrial_Internet_Japan_WhitePaper_0517_2s.pdf)

General Electric (2013), The Industrial Internet@Work

(http://www.ge.com/jp/docs/1389000498785_Japan_IndustrialInternetatWork_0106s.pdf)

General Electric (2014), The Future of Work

(http://www.ge.com/jp/docs/1400636818144_The_Future_of_Work_J_0510.pdf)

General Electric (2014), DIGITAL RESOURCE PRODUCTIVITY

(https://www.ge.com/sites/default/files/ge_digital_resource_productivity_whitepaper.pdf)

Accenture Technology (2014), Driving Unconventional Growth through the Industrial Internet of Things

(https://www.accenture.com/mz-en/_acnmedia/Accenture/next-gen/reassembling-industry/pdf/Accenture-Driving-Unconventional-Growth-through-IIoT.pdf)

Deloitte (2014), The Internet of Things Ecosystem: Unlocking the Business Value of Connected

Devices

(<http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Technology-Media-Telecommunications/gx-tmt-Iotecosystem.pdf>)

The Government Office for Science (2014) , The Internet of Things: making the most of the Second Digital Revolution

(https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/409774/14-1230-internet-of-things-review.pdf)

PwC (2013) , Internet of Things:Evolving transactions into relationships

(<http://www.pwc.com/us/en/technology-forecast/2013/issue1/index.jhtml>)

Harvard Business Review 「IoT の衝撃」(2015 年 4 月号)

(http://www.mizuhobank.co.jp/corporate/bizinfo/industry/sangyou/pdf/1050_all.pdf)

清尾克彦「M2M(Machine to Machine)技術の動向と応用事例」(2013)

(http://www.cyber-u.ac.jp/about/pdf/bulletin/0005/0005_02.pdf)

和田恭「米国における M2M の動向」『ニューヨークだより』(2012)

(<http://www.ipa.go.jp/files/000006081.pdf>)

みずほ銀行「みずほ産業調査 Vol.51 特集：欧州の競争力の源泉を探るー今、課題と向き合う欧州から学ぶべきことは何かー」(2015)

Cisco Systems (<http://www.cisco.com>)

Ericsson (<http://ericssonwww.ericsson.com>)

General Electric (<http://www.ge.com>)

McKinsey & Company (<http://www.mckinsey.co.jp>)

PTC (<http://www.ptc.com>)

SAP (<http://go.sap.com>)

Siemens (<http://www.siemens.com>)

Vodafone (<http://www.vodafone.com>)

ファーストリテイリング (<http://www.fastretailing.com>)

経済産業省 (<http://www.meti.go.jp>)

首相官邸 (<http://www.kantei.go.jp>)

総務省 (<http://www.soumu.go.jp>)

<第二部 IoT 活用、IoT を支える基盤の最新動向と展望>

内閣府、SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) . 自動走行システム. 研究開発計画 (2015 年 5 月) (http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf)

中山幸二 他,「自動車オートパイロット開発最前線 ～要素技術開発から社会インフラ整備まで」(2014 年 5 月)(株式会社エヌ・ティー・エス)

R. Harper, "Inside the Smart Home: Ideas, Possibilities and Methods," in Inside the Smart Home,

Springer (2003)

International CES (<http://www.cesweb.org/>)

Acatech, Final report of the Industrie 4.0 Working Group, Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, (2013)

総務省「ICT コトづくり検討会議報告書ーデータの開放・共有・活用による新たな社会・経済構造への転換ー」(平成 25 年 6 月)

(http://www.soumu.go.jp/main_content/000242149.pdf)

村上憲郎、「SNS と IoT (Internet of Things) が切り拓く, ビッグデータ 2.0 の世界」 情報管理 vol.56 no.2 (2013) 独立行政法人科学技術振興機構

(https://www.jstage.jst.go.jp/article/johokanri/56/2/56_71/_pdf)

小林雅一、「朝日新書 クラウドから AI」(2013) (朝日新聞出版)

馬場口登, 山田誠二、「人工知能の基礎 (第 2 版)」(2015) (オーム社)

松尾豊、「角川 EPUB 選書 人工知能は人間を超えられるか ディープラーニングの先にあるもの」(2015) (KADOKAWA)

日経コンピュータ編、「日経 BP ムック The Next Technology 脳に迫る人工知能 最前線」(日経 BP) (2015)

村田昇、「スパースコーディングの基礎理論と画像処理への応用」、情報処理学会研究報告 IPSJ SIG Technical Report (2006) 一般社団法人情報処理学会

Jeff Hawkins, Sandra Blakeslee, On Intelligence: How a New Understanding of the Brain will Lead to the Creation of Truly Intelligent Machines, Times Books (2004)

小林雅一「AI (人工知能) にかける米シリコンバレーと Google の野望ー危機に晒される日本の産業用ロボット」(株式会社 KDDI 総研) (2014 年 5 月)

(<http://www.kddi-ri.jp/article/RA2014005>)

総務省「平成 26 年版情報通信白書」(平成 26 年 7 月)

European Commission, Digital Agenda for Europe The Internet of Things,

(<http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/internet-things>)

Carl Benedikt Frey, Michael A. Osborne, THE FUTURE OF EMPLOYMENT: HOW SUSCEPTIBLE ARE JOBS TO COMPUTERISATION? (Oxford University) (2013)

(http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf)

経済産業省 産業構造審議会 商務流通情報分科会情報経済小委員会中間とりまとめ「CPS (Cyber Physical System) によるデータ駆動型社会の到来を見据えた改革」(2015 年 5 月)

(http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shojo/johokeizai/pdf/004_05_00.pdf)

オペレーションズ・リサーチ学会、OR 事典 Wiki (<http://www.orsj.or.jp/~wiki/wiki/index.php>)

人工知能学会、What's AI (<http://www.ai-gakkai.or.jp/whatsai/>)

独立行政法人情報処理推進機構 (IPA)、「2010 年度自動車の情報セキュリティ動向に関

する調査報告書～6 件のセキュリティ上の脅威（問題点）を分析～」

(<http://www.ipa.go.jp/files/000014119.pdf>)

Federal Trade Commission, Internet of Things — Privacy & Security in a Connected World —, (2013)

(<https://www.ftc.gov/system/files/documents/reports/federal-trade-commission-staff-report-november-2013-workshop-entitled-internet-things-privacy/150127iotrpt.pdf>)

STANLEY LAW GROUP, COMPLAINT FOR BREACH OF WARRANTY, BREACH OF CONTRACT AND VIOLATION OF CONSUMER PROTECTION LAWS, (2015)

(http://www.stanleyiola.com/files/2015/03/20150310_Complaint.pdf)

内閣サイバーセキュリティセンター、「サイバーセキュリティ戦略（案）」（2015 年 5 月）

(<http://www.nisc.go.jp/active/kihon/pdf/cybersecurity-senryaku.pdf>)

インテル株式会社 (<http://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/homepage.html>)

株式会社 Preferred Infrastructure (<https://preferred.jp/>)

株式会社カブク (www.kabuku.co.jp/)

経済産業省 (<http://www.meti.go.jp>)

総務省 (<http://www.soumu.go.jp>)

©2015 みずほ情報総研株式会社・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、弊社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、弊社はその正確性・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弊社の書面による許可なくして再配布することを禁じます。

