

資源エネルギー庁 御中

平成29年度電力需給・系統等関連調査
(AI・IoT等の技術革新が系統・発電・小売部門に与える影響と
求められる新たなビジネスモデル等に関する調査)

調査報告書

平成30年3月

株式会社日本総合研究所
創発戦略センター

はじめに

今般の電力システム改革により新たに発電・小売部門が自由化され、多様な主体による新規参入と競争が進み、一定程度の産業構造の変革が起きつつあるといえる。加えて、今後は、新たな技術開発の進展・ビジネスモデルの確立によって、今般のシステム改革を超える事業環境の変化をもたらし、ひいては電力分野の産業構造を変革していく可能性がある。

既に足元では、近年の AI・IoT 等の技術革新によって、自動車産業、IT 産業等の個別産業の構造を変えつつあり、産業構造全体で見ても大きな影響を与えつつある。こうした AI・IoT 技術を中心とした変革の波は、電力産業においても例外では無く、系統運用、発電制御、需要予測等電気事業においても多くの分野に応用できる可能性を秘めている。更には、再生可能エネルギーの導入拡大や省エネ技術革新、ひいては温暖化対策といった要素を加味することも不可欠である。

こうした中、今後のエネルギー基本計画の見直しや電力システム改革の推進等においても、こうした新たな技術革新の動向やこれによる将来的な電力事業へのインパクト等について検討を深め、的確に把握する必要がある。

本調査は、今後の我が国の電力事業に関するより実効的な政策立案に役立てることを目的として、上述の論点を中心に関連する情報の収集と詳細な分析を行った。

なお、本調査にあたり、関係機関や学識者の参加を得て「平成 29 年度電力需給・系統等関連調査（AI・IoT 等の技術革新が系統・発電・小売部門に与える影響と求められる新たなビジネスモデル等に関する調査）勉強会」を開催した。勉強会では、主に技術革新がもたらす新たな電力事業の事例について、委員および事務局から紹介のうえ、委員によるディスカッションを実施した。

本勉強会にて得られた意見については、本報告書の内容に適宜反映している。

内容

はじめに	1
1. 将来の電力事業に影響を与えうる要素技術	3
1.1. 要素技術の概要	3
1.1.1. AI	6
1.1.2. IoT	11
1.1.3. ブロックチェーン	20
1.2. 想定される電力事業への影響	24
1.2.1. 電力事業に影響を与えうる要因	24
1.2.2. 海外企業の戦略事例	26
2. 将来の電力事業に影響を与えうる要素技術を用いた事例	29
2.1. AI	29
2.1.1. Bidgely	29
2.1.2. 日本住宅サービス	31
2.1.3. 日本気象協会	32
2.1.4. オプティマイザー	34
2.1.5. FKAIR	34
2.1.6. 安藤ハザマ	35
2.1.7. SB エナジー	36
2.2. IoT	37
2.2.1. デジタルグリッド	37
2.2.2. スマートスピーカー等を活用した事例	40
2.3. ブロックチェーン	43
2.3.1. Brooklyn Microgrid	43
2.3.2. Share & Charge	46
3. 総括	50

1. 将来の電力事業に影響を与えうる要素技術

1.1. 要素技術の概要

政府は、第 5 期科学技術基本計画において、我が国が目指すべき未来社会の姿として「Society 5.0」を初めて提唱した。Society 5.0 とは、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）とされている。すなわち、必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細かに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことのできる社会であるといえる。

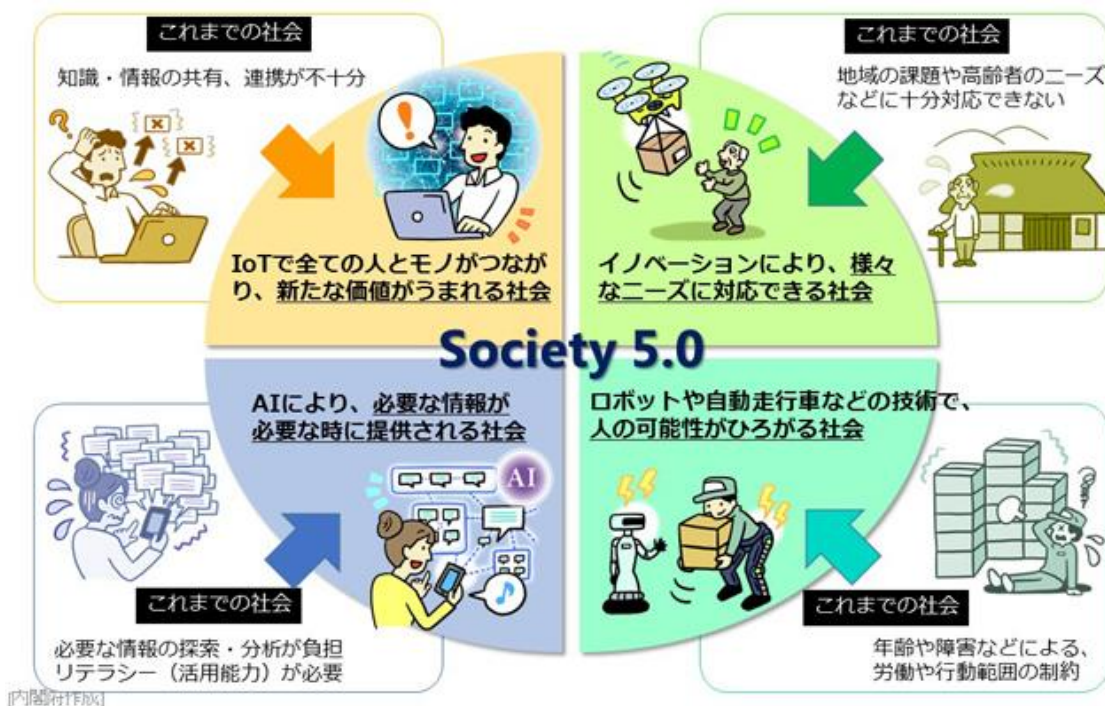
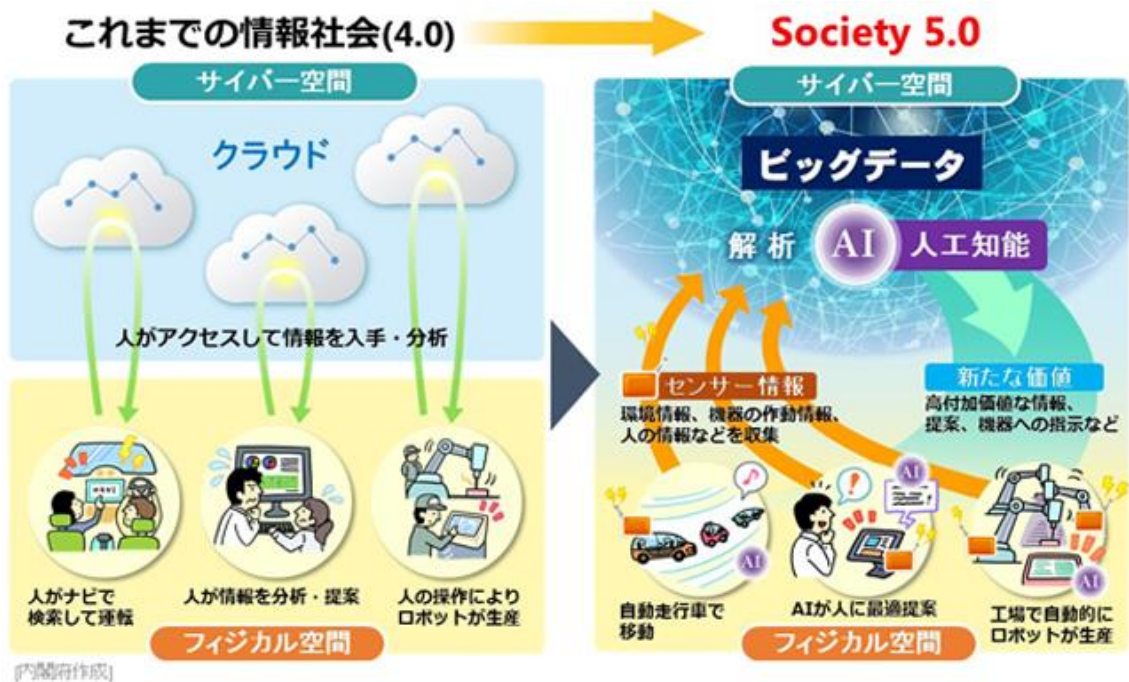


図 1 Society 5.0 で実現する社会

Society 5.0 では、フィジカル空間のセンサーからの膨大な情報がサイバー空間に集積される。サイバー空間では、このビッグデータを人工知能（AI）が解析し、その解析結果がフィジカル空間の人間に様々な形でフィードバックされる。従来の社会では、人間が情報を解析することで価値が生まれてきたが、Society 5.0 では、膨大なビッグデータを人間の能力を超えた AI が解析し、その結果がロボットなどを通して人間にフィードバックされることで、これまでには出来なかった新たな価値が産業や社会にもたらされることが期待されている。

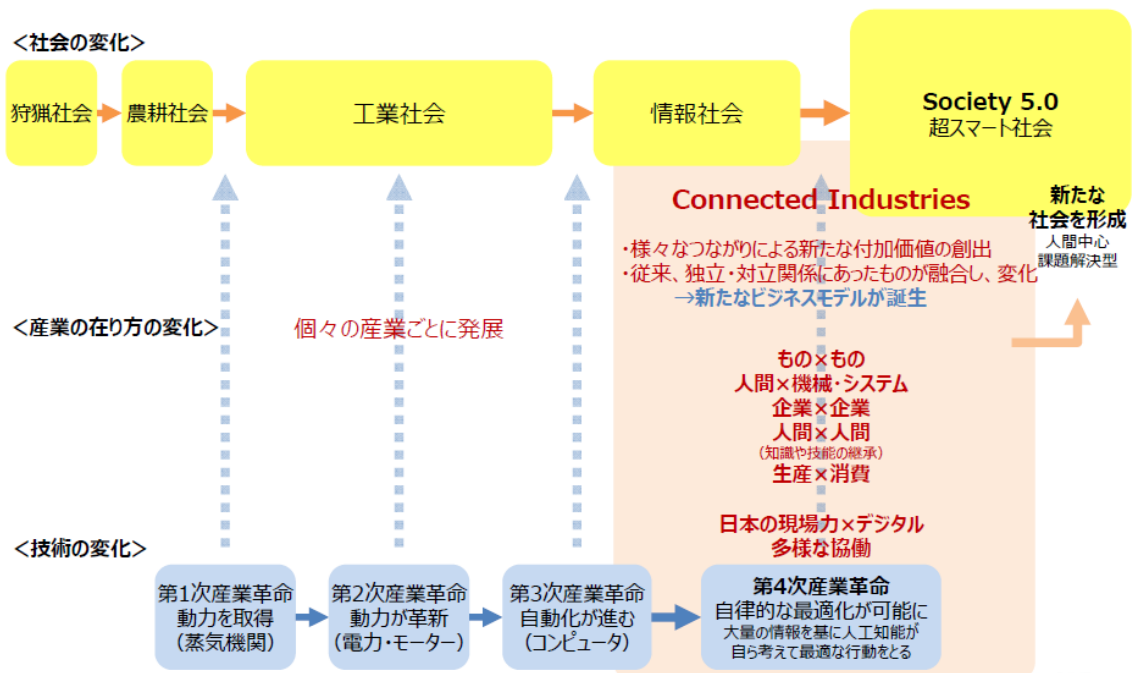


出所：内閣府 Society 5.0 ウェブサイト

図 2 サイバー空間とフィジカル空間の高度な融合

Society 5.0 を技術面からみると、第 4 次産業革命により可能となった自律的な最適化技術を社会に実装することが、Society 5.0 を実現するための手法に他ならないといえる。第 4 次産業革命の中心となった Connected Industries を支える技術、すなわち AI・IoT・ビッグデータといった要素技術を正確に理解し、電力産業を含めた社会にどのように導入すべきかを検討することが重要であるといえる。

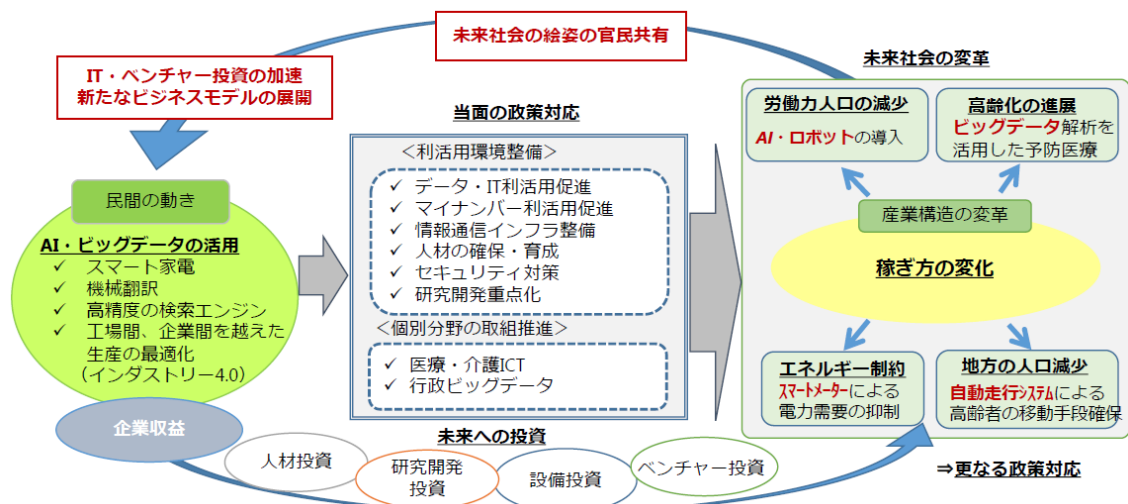
また、これらの技術に加えて、近年仮想通貨等を通じて急速に社会に広がりつつあるブロックチェーン技術についても、中央集権型から分散型へと取引の形態を移行させる強力な要因であると考えられることから、本調査における調査項目とする。



出所：経済産業省産業構造審議会「新産業構造ビジョン」p.3

図 3 Society 5.0 につながる Connected Industries

また、政府としては「日本再興戦略」改訂 2015 年（2015 年 6 月 30 日閣議決定）にて、IoT・ビッグデータ・人工知能等による産業構造・就業構造変革の検討を掲げている。



出所：NEDO「日本再興戦略改訂 2015 の概要」p.8

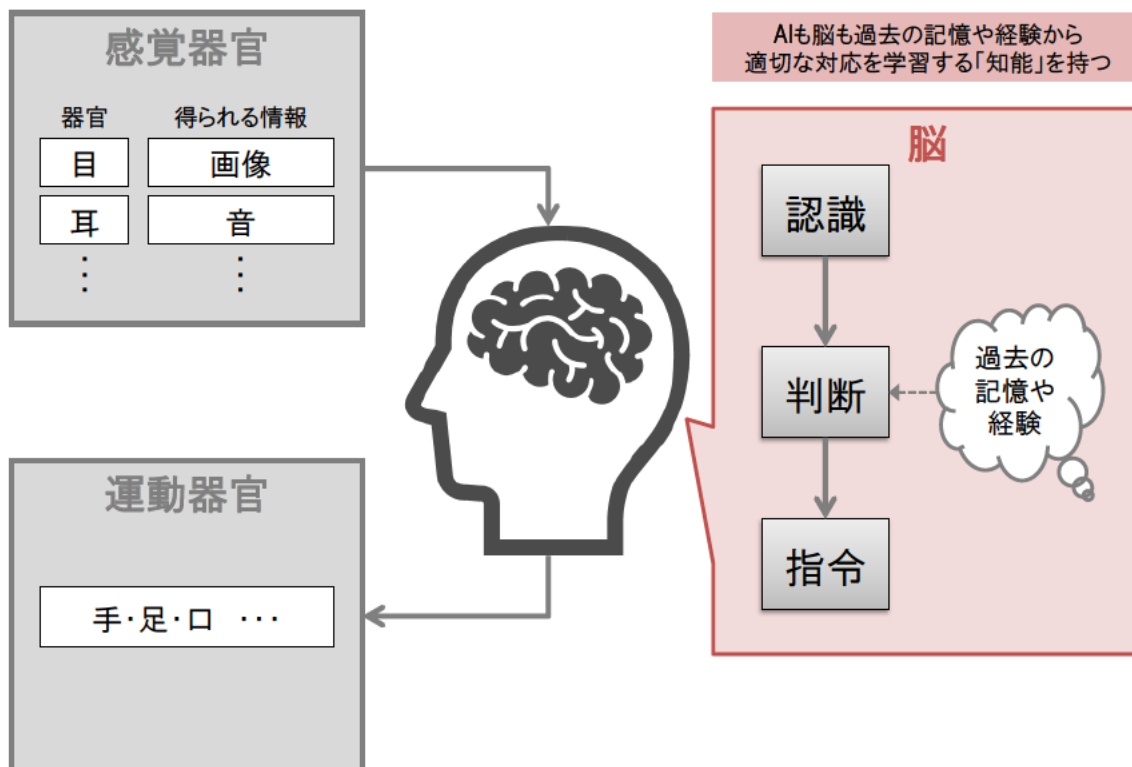
図 4 IoT・ビッグデータ・人工知能時代への産業構造・就業構造改革

1.1.1. AI

① 技術の概要

AI (Artificial Intelligent : 人工知能) とは、知的な機械、特に、知的なコンピュータプログラムを作る科学と技術である。

AI が果たす役割については、人間の活動になぞらえてみると分かりやすい。人間は、五感により周囲の状況を把握し、得られた情報を神経を通じて脳に伝え、脳は過去の記憶や経験を参照して判断を下し、その結果を再び神経を通して運動器官に伝える。AI は、この中で「脳」そのものの役割を果たす。重要なのは、AI の多くが脳の働きと同じく「学習」する点にある。つまり、我々が過去の記憶や経験から「こういう場合にはこのようにすればよい」と学習するのと同じく、AI は大量のデータから適切な対応を学習する「知能」を持っているといえる。



出所：日本総研作成

図 5 AI が果たす役割と人間活動との対照イメージ

AI という単語が誕生したとされるのは、約 60 年前といわれている。その後、AI 研究には過去二度のブームがあったが、それぞれ当時の技術では解決が難しい課題に突き当たることになった。そして今日、試行錯誤を繰り返した結果、「半導体の進化による計算能力の爆発的向上」「ビッグデータ環境の整備」「着実に開発が進められてきた AI 技術」という 3

つの要因により第三次ブームを迎えることとなった。

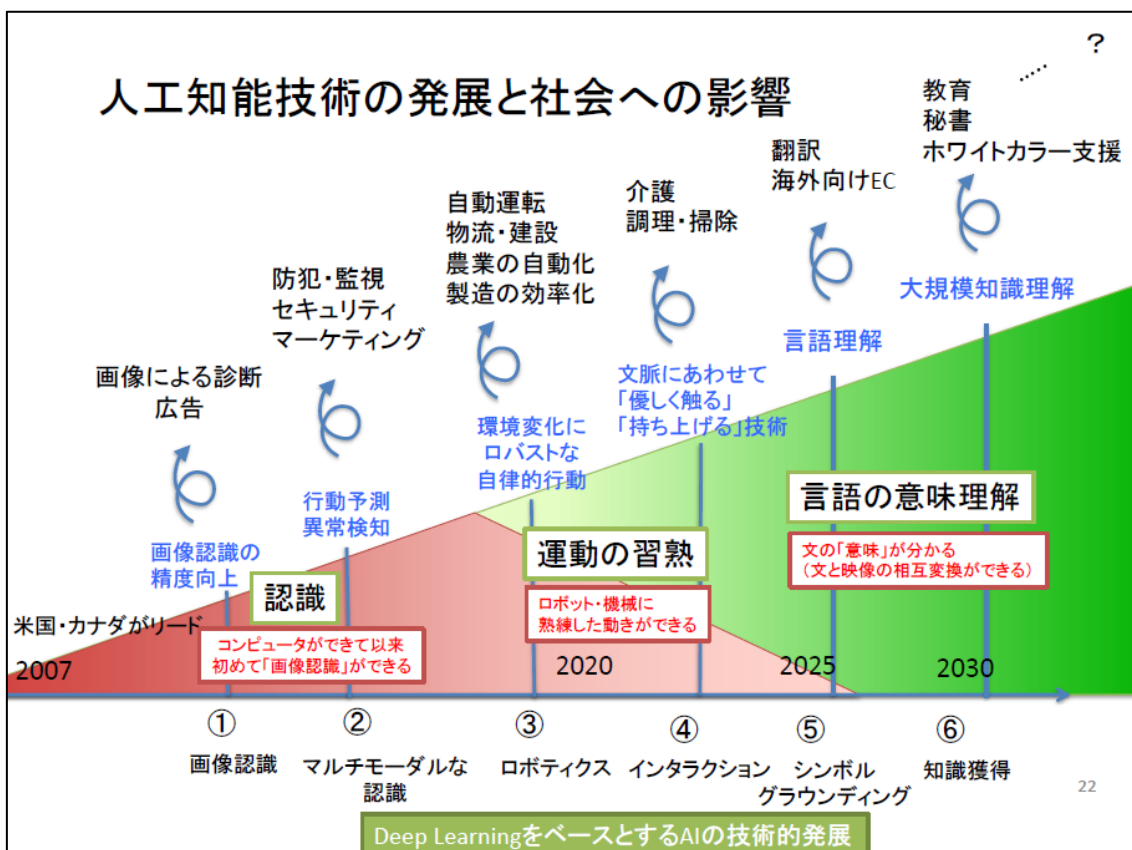
	人工知能の置かれた状況	主な技術等	人工知能に関する出来事
1950年代			チューリングテストの提唱 (1950年)
1960年代	第一次人工知能ブーム (探索と推論)	<ul style="list-style-type: none"> 探索、推論 自然言語処理 ニューラルネットワーク 遺伝的アルゴリズム 	ダートマス会議にて「人工知能」という言葉が登場 (1956年) ニューラルネットワークのパーセプトロン開発 (1958年) 人工対話システムELIZA開発 (1964年)
1970年代	冬の時代	<ul style="list-style-type: none"> エキスパートシステム 	初のエキスパートシステムMYCIN開発 (1972年) MYCINの知識表現と推論を一般化したEMYCIN開発 (1979年)
1980年代	第二次人工知能ブーム (知識表現)	<ul style="list-style-type: none"> 知識ベース 音声認識 	第五世代コンピュータプロジェクト (1982~92年) 知識記述のサイクプロジェクト開始 (1984年) 誤差逆伝播法の発表 (1986年)
1990年代	冬の時代	<ul style="list-style-type: none"> データマイニング オントロジー 	
2000年代	第三次人工知能ブーム (機械学習)	<ul style="list-style-type: none"> 統計的自然言語処理 ディープラーニング 	ディープラーニングの提唱 (2006年)
2010年代			ディープラーニング技術を画像認識コンテストに適用 (2012年)

出所：総務省「ICTの進化が雇用と働き方に及ぼす影響に関する調査研究」

図 6 AI 開発の沿革

数多の AI 技術の中でも今後のカギを握るのは、「ディープラーニング」と呼ばれる手法である。ディープラーニングが革新的といわれる理由は、データを分析する際に指標とする「特徴量」を、従来は人間が定義する必要があったのに対して、ディープラーニングでは機械自らが導き出すことができる、という特性にある。この特性により、人間が到底処理できないほどの圧倒的に大量のデータから、AI が自ら学習を重ねて分析や判断の精度を上げることが可能となった。

ディープラーニングをベースとする AI の技術的發展により、2020 年には「運動の習熟」、2025 年には「言語の意味理解」を達成することが期待されている。



出所：東京大学 松尾豊 「人工知能の未来-ディープラーニングの可能性とサイバーセキュリティに対する影響-」、p22

図 7 AI 技術の発展と社会への影響

② 社会に与える影響

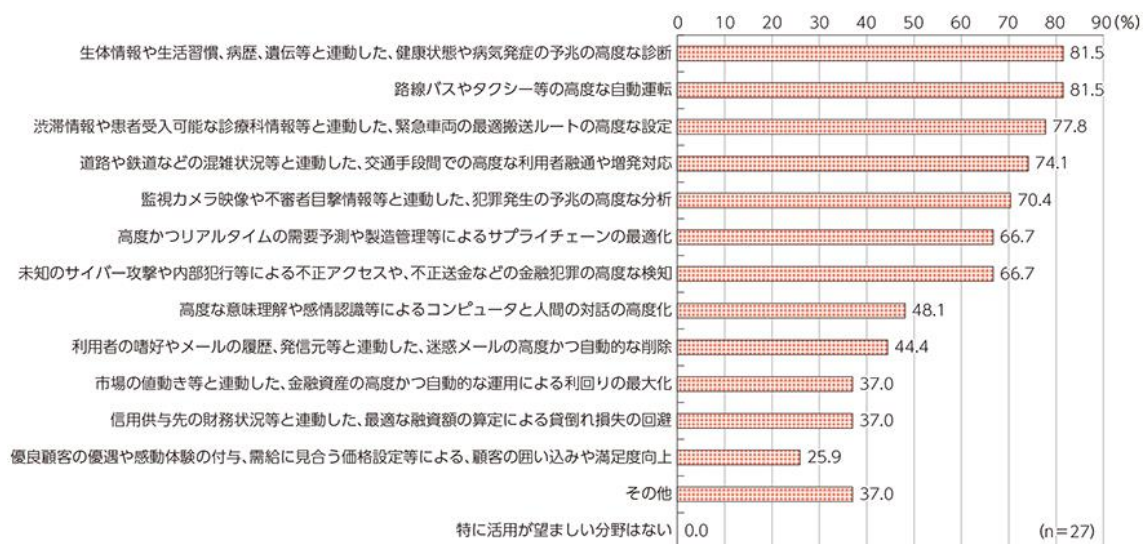
AI は、今後その実用化が着実に進展すると期待されており、多様な機能が幅広い分野で研究されている。今後、識別・予測の精度が向上することによって適用分野が広がり、かつ、複数の技術を結合することで、実用化に求められる機能が充足されるといった発展が見込まれている。

年	技術発展	向上する技術	社会への影響
2014	画像認識	認識精度の向上	・広告 ・画像からの診断
2015	マルチモーダルな抽象化	感情理解 行動予測 環境認識	・ビッグデータ ・防犯・監視
↓	行動と プランニング	自律的な 行動計画	・自動運転 ・物流(ラストワンマイル) ・ロボット
	行動に基づく 抽象化	環境認識能力の 大幅向上	・社会への進出 ・家事・介護 ・感情労働の代替
	言語との 紐づけ	言語理解	・翻訳 ・海外向けEC
2020	さらなる 知識獲得	大規模 知識理解	・教育 ・秘書 ・ホワイトカラー支援

出所：総務省「ICTの進化が雇用と働き方に及ぼす影響に関する調査研究」

図 8 AIの発展と利活用の進化

AIの利活用が望ましい分野に関して、有識者にアンケートを行ったところ、社会的課題の解決が期待される分野（健診の高度化や公共交通の自動運転、救急搬送ルートを選定、交通混雑・渋滞の緩和等）において、AIの利活用ニーズが相対的に高いという結果が得られた。一方で、産業や個人の生活に関わる分野（金融やマーケティング、コミュニケーション等）では、AIの利活用ニーズが相対的に低いという結果も得られた。

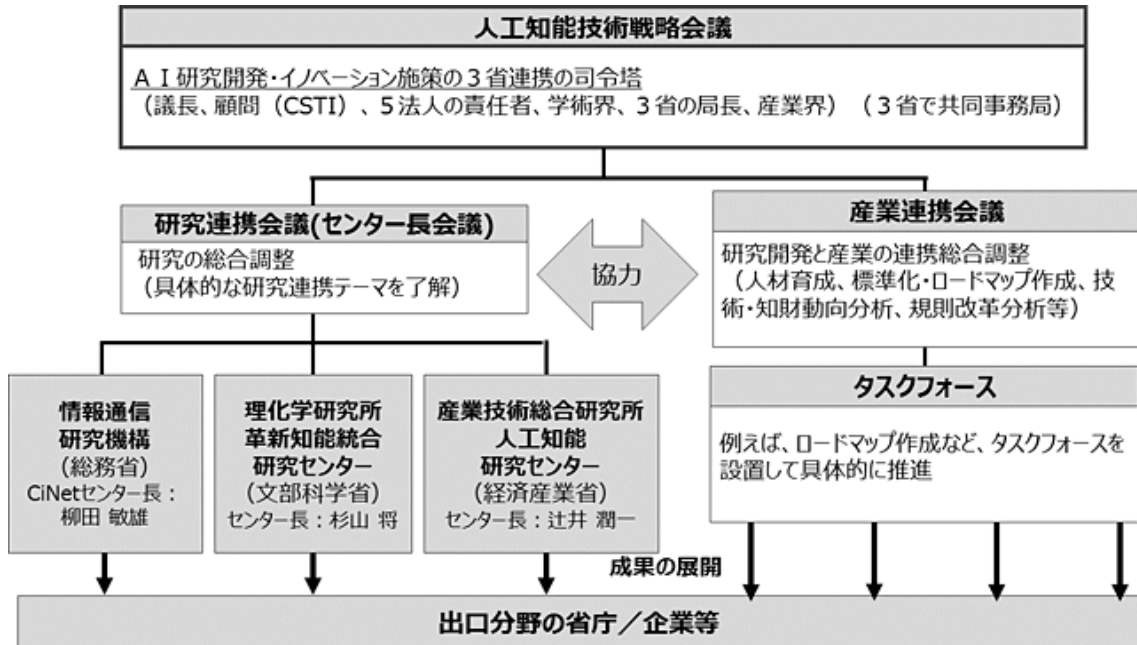


出所：総務省「ICTの進化が雇用と働き方に及ぼす影響に関する調査研究」

図 9 AIの利活用が望ましい分野

③ 国内での位置づけ

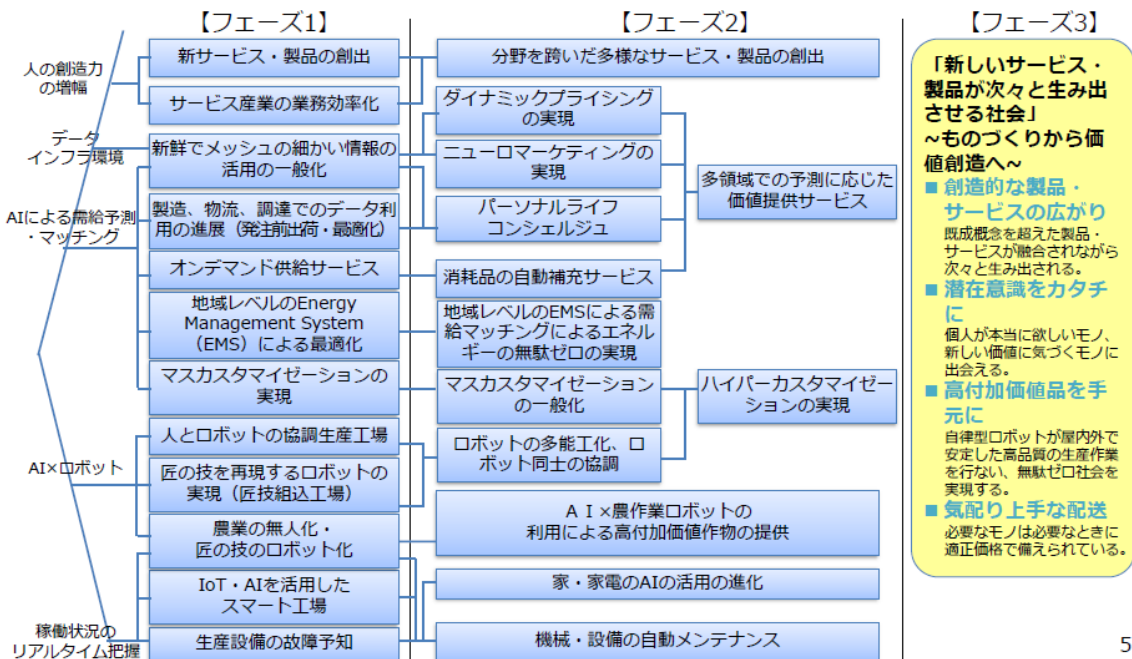
AIに関する具体的な推進体制として、2016年4月12日に開催された第5回「未来投資に向けた官民対話」における安倍総理の指示を受け、産学官の叡智を集め、縦割りを排した「人工知能技術戦略会議」が創設された。



出所：NEDO AI ポータルウェブサイト

図 10 AI 実用化見通しに伴う推進体制

2017年3月人工知能技術戦略会議において、「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」が策定された。今後、エネルギー関連では、EMS、ダイナミックプライシングについて、研究開発する方針が示されている。



出所：人工知能技術戦略会議「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」、p5

図 11 AI とその他関連技術融合による産業化ロードマップ（生産性分野）

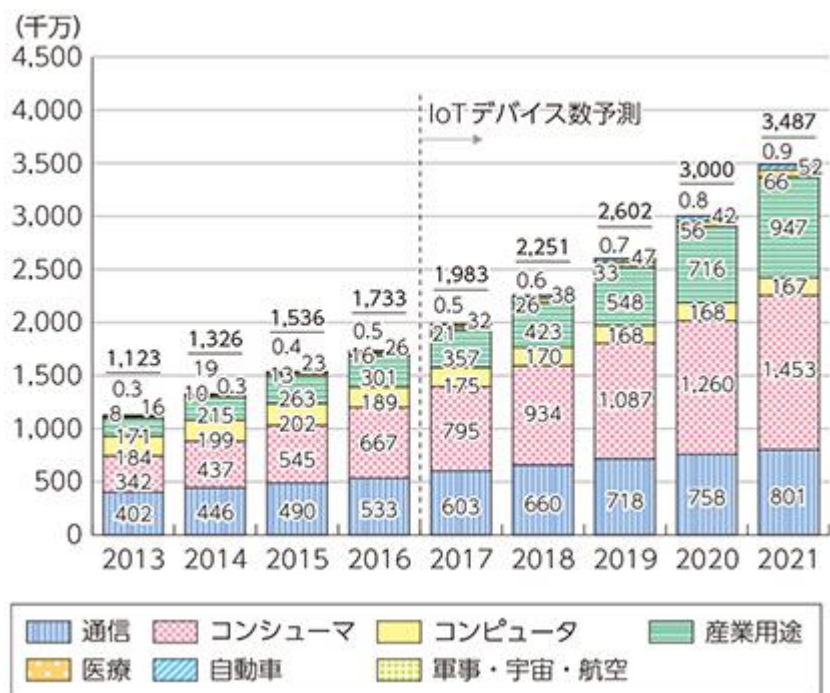
1.1.2. IoT

① 技術の概要

IoT (Internet of Things) は「モノのインターネット」とも呼ばれ、パソコンやスマートフォン、タブレットといった従来型の ICT 端末だけでなく、様々な「モノ」がセンサーと無線通信を介してインターネットに接続され、インターネットの一部を構成するという意味である。

IoT のコンセプトは、自動車、家電、ロボット、施設などあらゆるモノがインターネットにつながり、情報のやり取りをすることで、モノのデータ化やそれに基づく自動化等が進展し、新たな付加価値を生み出すというものである。これにより、製品の販売に留まらず、製品を使ってサービスを提供するいわゆるモノのサービス化の進展にも寄与することが期待されている。

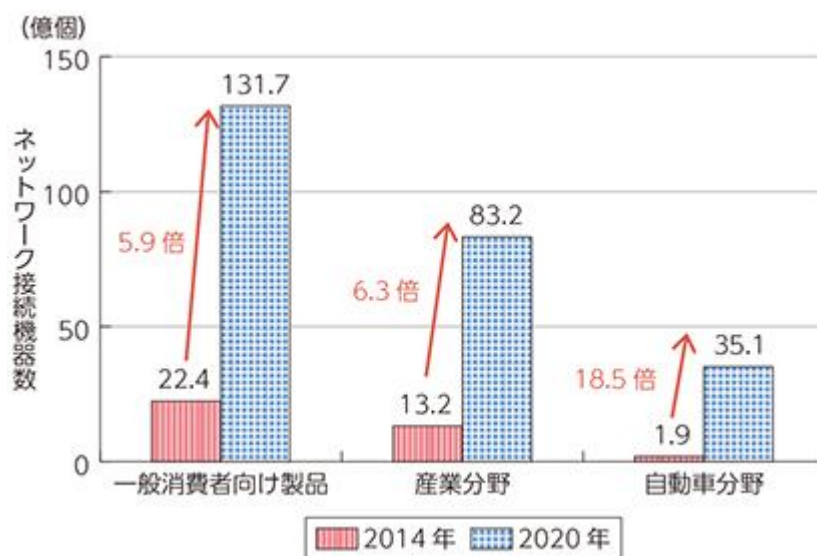
IoT 時代の到来を表す一義的な指標としては、こうしたインターネットにつながるモノの数の爆発的な増加が挙げられる。インターネットにつながるモノ (IoT デバイス) の数は、2016 年時点で 173 億個であったところ、2020 年は約 300 億と現状の数量の 2 倍に規模が拡大する見通しである。



出所：総務省「平成 29 年版情報通信白書」、IHS Technology

図 12 世界のインターネットにつながるモノ (IoT デバイス) 数の推移・予測

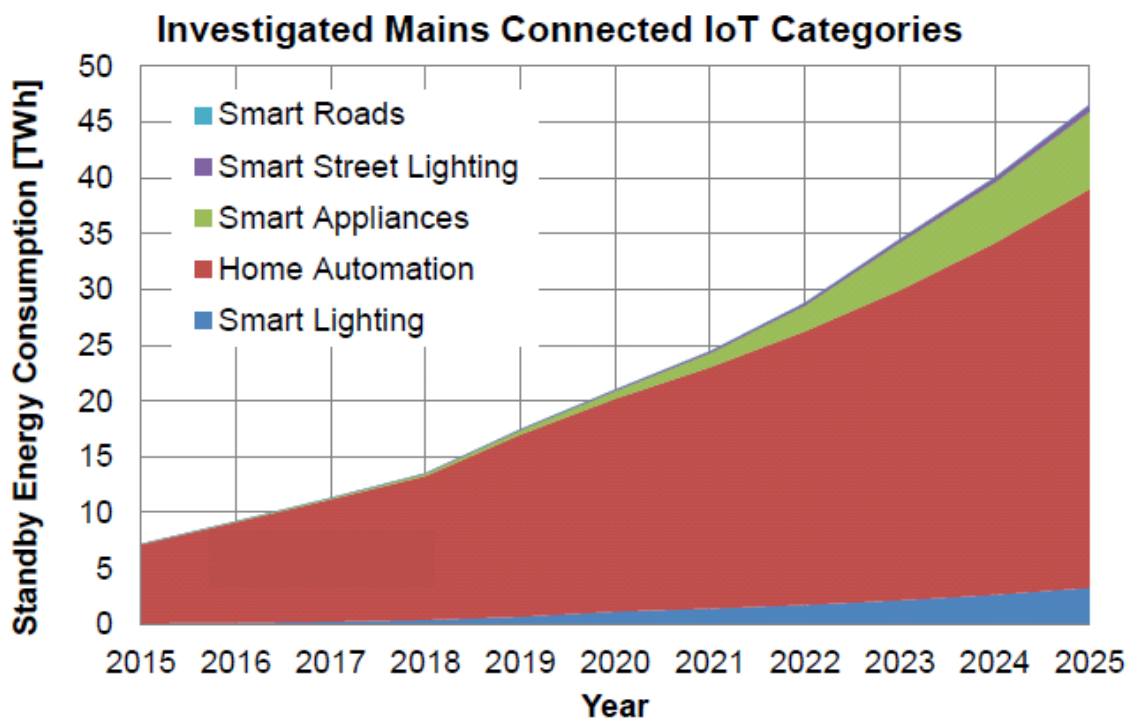
IoT で想定している接続されるモノは、接続機器の従来の代表格であるパソコンやスマートフォンだけではなく、車や家電、産業用設備など、従来通信機能を備えていなかった機器が挙げられる。あらゆる産業や社会経済の分野においてネットワーク接続機器が浸透していくことで、インターネットにつながるモノの数が飛躍的に拡大することが期待されている。



出所：総務省「平成 27 年版情報通信白書」、Gartner “Gartner Says 4.9 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2015”

図 13 世界のインターネットにつながるモノ (IoT デバイス) 数の推移・予測

また、IoT 技術拡大に伴い、デバイス本体の電力消費量の増大も想定されており、2025 年には家庭内の IoT デバイスの電力消費量は 460 億 kWh に達することが見込まれている。



出所：IEA 「Energy Efficiency of the Internet of Things」 2016 年、P6

図 14 IoT アプリケーションの電力消費量予測

② 社会に与える影響

前述のとおり、今後はあらゆる分野にわたってネットワーク接続機器が浸透していくことが予想されている。これに伴って、IoTの技術やコンセプトは幅広い領域に適用され、社会インフラとして浸透していくと予想される。

分野	適用イメージ例
施設	・施設内設備管理の高度化（自動監視・制御等）
エネルギー	・需給関係設備の管理を通じた電力需給管理 ・資源採掘や運搬等に係る管理の高度化
家庭・個人	・宅内基盤設備管理の高度化 ・宅内向け安心・安全等サービスの高度化
ヘルスケア・生命科学	・医療機関/診察管理の高度化 ・患者や高齢者のバイタル管理 ・治療オプションの最適化 ・創薬や診断支援等の研究活動の高度化
産業	・工場プロセスの広範囲に適用可能な産業用設備の管理・追跡の高度化 ・鉱業、灌漑、農林業等における資源の自動化
運輸・物流	・車両テレマティクス・追跡システムや非車両を対象とした輸送管理の高度化 ・交通システム管理の高度化
小売	・サプライチェーンに係る高度な可視化 ・顧客・製品情報の収集 ・在庫管理の改善 ・エネルギー消費の低減
セキュリティ・公衆安全	・緊急機関、公共インフラ（環境モニタリング等）、追跡・監視システム等の高度化
IT・ネットワーク	・オフィス関連機器の監視・管理の高度化 ・通信インフラの監視・管理の高度化

出所：総務省「グローバル ICT 産業の構造変化及び将来展望等に関する調査研究」

図 15 IoT の適用分野の例

IoT は、情報の収集・蓄積、解析、反映・応用のあらゆる面において革新をもたらすことから、様々なビジネスや産業構造そのものを大きく変革する可能性を秘めている。また、ビジネスに留まらず社会分野等の幅広い分野での活用の可能性も期待される。

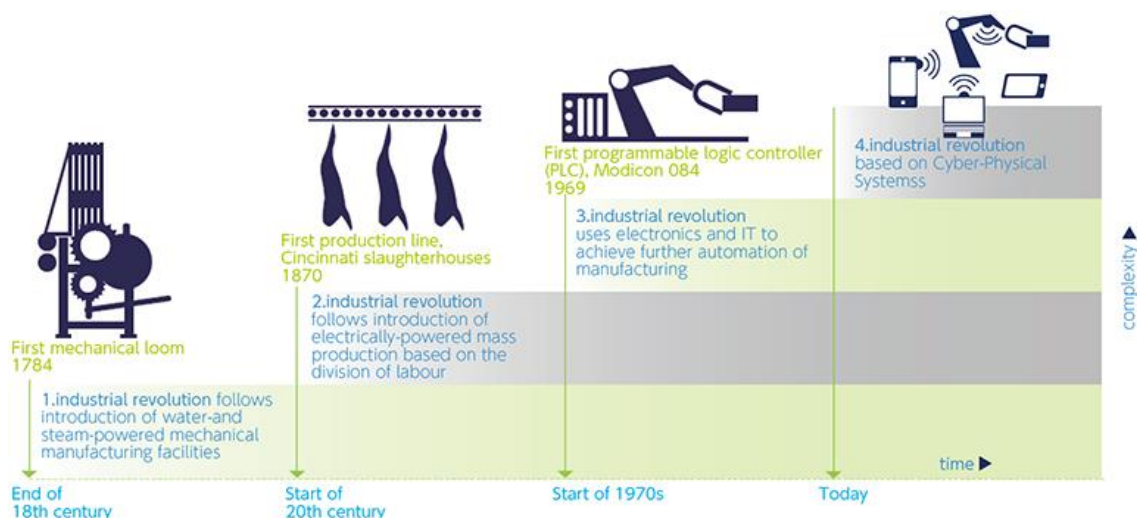
産業部門においては、特に製造業における影響が大きいと予想される。例えば、製造業の生産ラインの現場では、これまで製品の製造条件等は、データを収集していなかったり、もしくは収集していたとしても、十分に分析・活用できていなかったりしていた。そこにIoTの技術を用いることで、データを自動的に収集・分析し、生産効率の改善へつなげることが可能となる。国内外の事例からも、製造業のIoT化には、様々な目的と狙いがあることが分かる。

適用業務	企業名	概要
作業支援	Honeywell	ワイヤレスインテリジェントガス検知システム等の業務用ソリューションを提供。25以上のセンサーを搭載するリアルタイムなモニタリングと監視センターへの通知が可能な機器等を開発。
	Vuzix・SAP	Vuzixのヘッドマウントディスプレイ型端末にSAPが開発した仮想現実アプリケーションを付加。物流業務従事者に向け、ディスプレイで作業者への指示出しと管理者からの状況認識を、アウトカメラで作業者から状況通知を行うといったことをハンズフリーで実現。
製品品質管理	Schwering & Hasse	同社が有する銅線製造の大規模な生産ラインにセンサーやビッグデータ解析技術を活用した高速解析システムによる品質管理システムを構築。製造工程の中で従来の4,000倍のデータを取得して電圧異常を検知し、製品の品質が格段に向上。
	京セラコミュニケーションシステム	センサごとに行っていたシステムインテグレーション (SI) を共通化し、多種多様なセンサに対応するマルチセンサ対応 M2M / IoT データ収集プラットフォーム「集蔵」を開発し、製造現場等での製品の品質向上や生産の稼働率向上を実現。
需要予測	小松製作所	世界各国に販売している建設機械に通信モジュールを設置して、建設機械のデータを収集し、建設機械の稼働状況を把握するKOMTRAXシステムを開発。稼働状況からCO ₂ の消費量計測の他、景気の予測といった見える化を実現している。
	Climate Corporation	サンフランシスコのスタートアップ企業であり、農業経営者向けに、作物に最適な場所や条件を判断できるように、土壌の品質や気象データを確認したり、作物の収穫量を把握するのに役立つ最新情報を農業経営者のシステムに定期的に送信したりできる、クラウドベースのサービスを提供している。
故障予測	オムロン・キューピー	キューピーの製造現場において、オムロンのプラットフォームを活用し、微小で瞬間的な電流値の変化を検出することで、異常の兆候を生産過程中に検知し、生産効率を向上させている。
	Microsoft・ThyssenKrupp	世界的な重工業メーカーである独 ThyssenKrupp では、Microsoft のクラウドサービスを活用し、世界中のエレベーターからデータを取得してトラブルの予兆検知を実現。エレベーターのモーターの温度やシャフトアライメント、ドア機能などを監視し、予兆管理している。

出所：総務省「グローバル ICT 産業の構造変化及び将来展望等に関する調査研究」

図 16 産業向け IoT 製品・取り組み事例

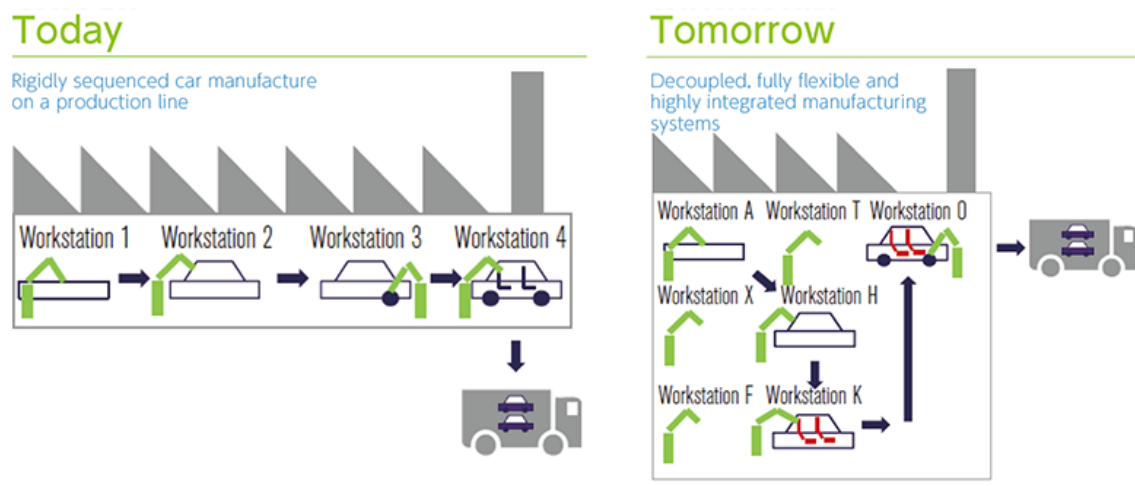
海外における製造業の IoT 化プロジェクトとして最も有名なのは、ドイツの「Industrie4.0 戦略」である。これは、官民連携体制で「モノ (IoT) とサービス (IoS; Internet of Service) のインターネット」の製造プロセスへの応用を通じて、生産プロセスの上流から下流までが垂直方向にネットワーク化されることにより、注文から出荷までをリアルタイムで管理しバリューチェーンを結ぶ「第 4 次産業革命」が生まれるという考え方に基づき命名されたものである。



出所：Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft, Acatech, "Securing the future of German manufacturing industry Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 Final report of the Industrie 4.0. Working Group"

図 17 Industrie4.0 の位置づけ

自動車生産の現場を例にとると、Industrie4.0 が実現すれば、ネットワークに接続された製造ロボットが、生産状況や在庫等のさまざまな情報をリアルタイムに分析した結果を踏まえ、臨機応変に生産方式や製造物を変え、最適な生産を行うことが可能となる。これにより、顧客や市場の要望に応じて、常に最適な生産体制を自動的に維持することが期待できる。

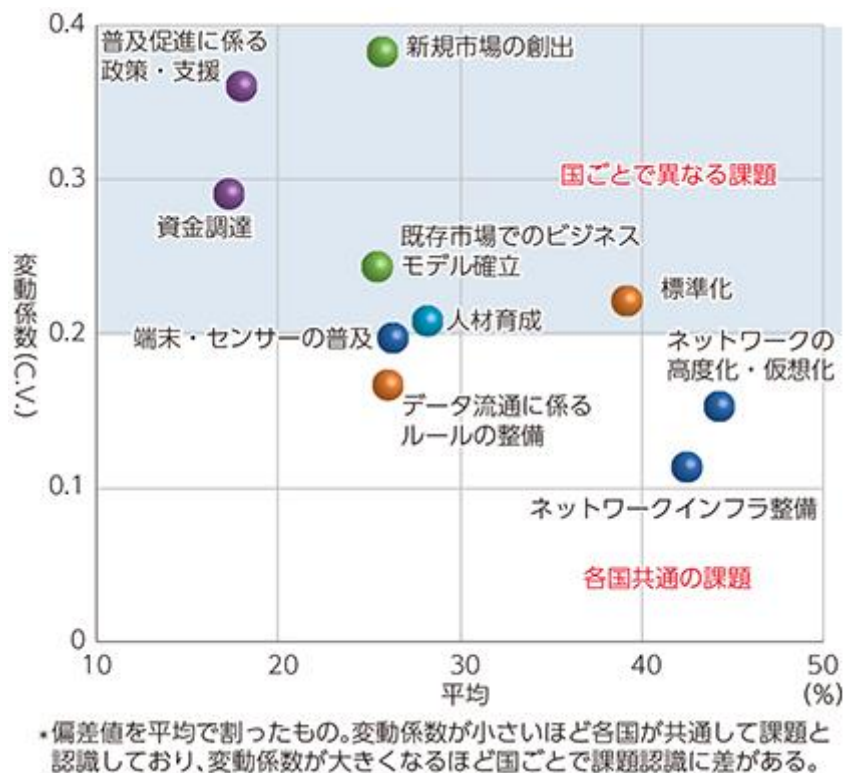


出所：Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft, Acatech, "Securing the future of German manufacturing industry Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 Final report of the Industrie 4.0. Working Group"

図 18 従来の生産方式と Industrie4.0 が目指す将来像の違い

③ 現状と課題

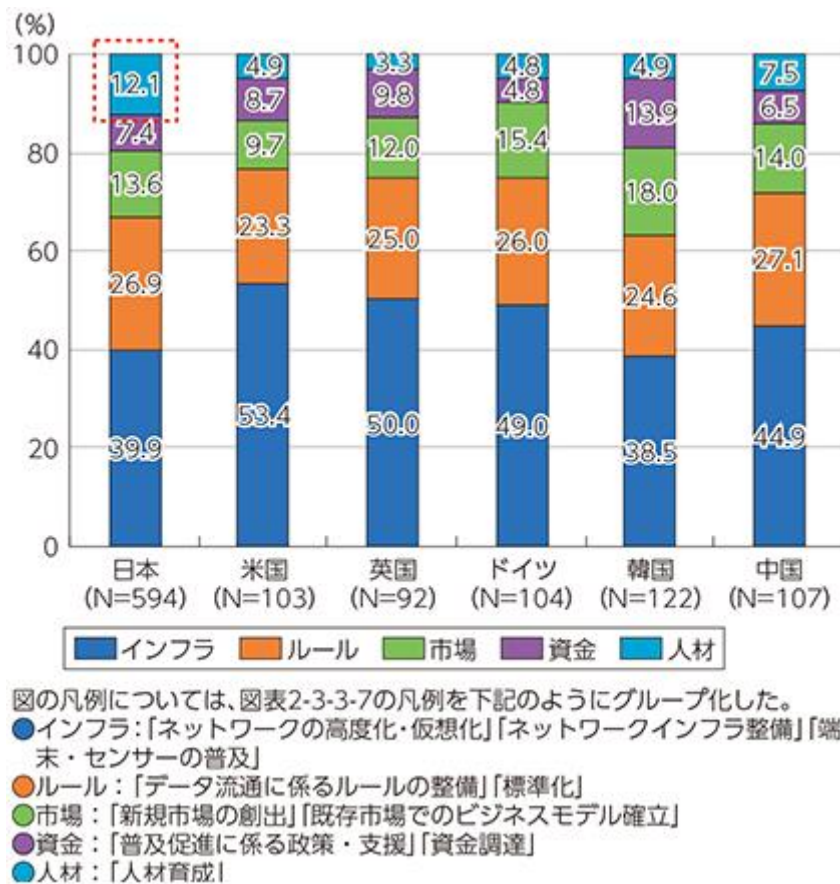
IoT の推進等に係る課題を国際的に見ると、インフラ整備の面は共通の課題として認識されている一方、新規市場の創出や資金調達面については、国ごとに課題認識にばらつきがみられる。このような市場の有無や資金調達のハードルが、各国の IoT 進展度の差異に影響していることが想定される。



出所：総務省「IoT時代におけるICT産業の構造分析とICTによる経済成長への多面的貢献の検証に関する調査研究」

図 19 IoTの進展に係る課題の平均と変動係数

国別に課題を比較すると、日本企業は、他国と比べて「人材育成」に対する課題認識が高い傾向がある。他方、「ネットワークの高度化・仮想化」等のインフラに関する課題については、相対的に課題認識が低い。このような状況から、我が国においては、IoT進展の基盤となるネットワークインフラは整っているものの、それを活用して製品・サービスを開発するための専門知識を有する人材が不足していることが想定される。



出所：総務省「IoT時代におけるICT産業の構造分析とICTによる経済成長への多面的貢献の検証に関する調査研究」

図 20 各国 IoT の進展に係る課題

④ 国内・海外での位置づけ

諸外国では、IoTの普及促進等に関する政策的な取組が進んでいる。各国とも、産業構造や企業の取組等の違いを背景に、政策的な取組においては、それぞれ狙い、対象分野、国の役割等の観点が異なる。

米国では、2013年に始まったホワイトハウス直下のプロジェクトである Smart America Challenge では、CPS (Cyber-Physical System：実世界のデータをセンサーにより収集・観測し、クラウド等のサイバー空間にてデータの処理・分析を行い、その結果得られた価値を実世界に還元すること)の社会実装を促進すべく、CPSが新規事業機会及び社会経済的便益の創出につながることを明らかにすることを目的としている。

ドイツでは、前述の官民連携プロジェクト「Industrie4.0戦略」に代表される、製造業のIoT化を通じて、IoTの効果を社会実装することを目指している。

中国では、2011年の「第12次5カ年計画綱要」において、IoTやM2M、ユビキタスネットワークに相当する「物聯網」が重点産業分野の一つとされ、IoTを通じて一気に近代化

を進める方針が示された。

	米国：Smart America Challenge	ドイツ：インダストリー4.0戦略	中国：物聯網
主な狙い	<ul style="list-style-type: none"> 生活水準の向上、雇用創出、新規ビジネスの機会創出、経済活性化の観点で、CPSの効果測定を実施 CPS融合に向けた、スケーラブル・全国レベルでの接続実証、オープンなデータ交換セキュリティプロトコルの開発 等 	<ul style="list-style-type: none"> IoTの製造プロセスへの応用を通じて産業機械や物流・生産設備のネットワーク化、生産調整の自動化などによる製品開発・製造プロセスの高度化 製造業を中心とする中小企業の活性化 標準化された生産システムの輸出 等 	<ul style="list-style-type: none"> 社会的ニーズの解決に向けた社会や産業のIT化、及び経済成長を達成するための産業育成 等
対象分野、具体的な取組等	<ul style="list-style-type: none"> 住宅・オフィスビル（スマートホーム等） 環境（水道のスマート化等） セキュリティ（サイバーセキュリティ等） ヘルスケア（スマート病院等） 交通（V2V / V2I、自動車等） エネルギー（スマート街灯等） 製造（ロボティクス、スマート製造等） 災害復旧（緊急対応等） 	<ul style="list-style-type: none"> 主に製造分野（Smart Factory等） 	<ul style="list-style-type: none"> 工業、農業（インテリジェント制御等） 物流、交通（物品監視、交通量監視等） 電力（送変電設備監視等） 公共安全、環境保護、災害予防（監視等） 家庭、健康・医療（省エネ、健康管理等）
関連機関等	<ul style="list-style-type: none"> NSF、DoT、HHS、DHS、DoE、ED等 AT&T、GE、IBM、Intel、Qualcomm等 	<ul style="list-style-type: none"> ドイツ機械業界主要3団体 Bosch、Siemens、Deutsche Telekom、Volkswagen 等 	<ul style="list-style-type: none"> 江蘇省、浙江省、広東省、北京市、上海市などが積極的で、大学、製造業、情報システム事業者、通信事業者が参加
国の役割	<ul style="list-style-type: none"> 政府が選定した民間フェローを中心にプロジェクト管理、テーマ選定等を実施 プロジェクトの企画・実装は産業主導で、政府予算の割当は基本的に無し 	<ul style="list-style-type: none"> いわゆるPPP方式に基づき連邦政府教育研究省（BMBF）、EU委員会中心に支援 新しい技術、標準化開発向けに2億€の予算を確保 	<ul style="list-style-type: none"> 物聯網関連政策を発令し、中国の物聯網発展に有利な発展環境を構築
現在の状況	<ul style="list-style-type: none"> 数多くのプロジェクトが提案されている 2014年6月に実施されたSmart Challenge Expoにて、政府として注力する分野・プロジェクトを選定 	<ul style="list-style-type: none"> インダストリー4.0プラットフォームに係る標準化に向けて各企業の活動が活発 2016年3月にはThe Industrial Internet Consortiumとリファレンス・アーキテクチャーを統合することで合意 	<ul style="list-style-type: none"> 途中経過報告「工業情報化部2014年物聯網作業点」によれば、関連法律・規制（個人情報保護等）の改定等の検討を継続中

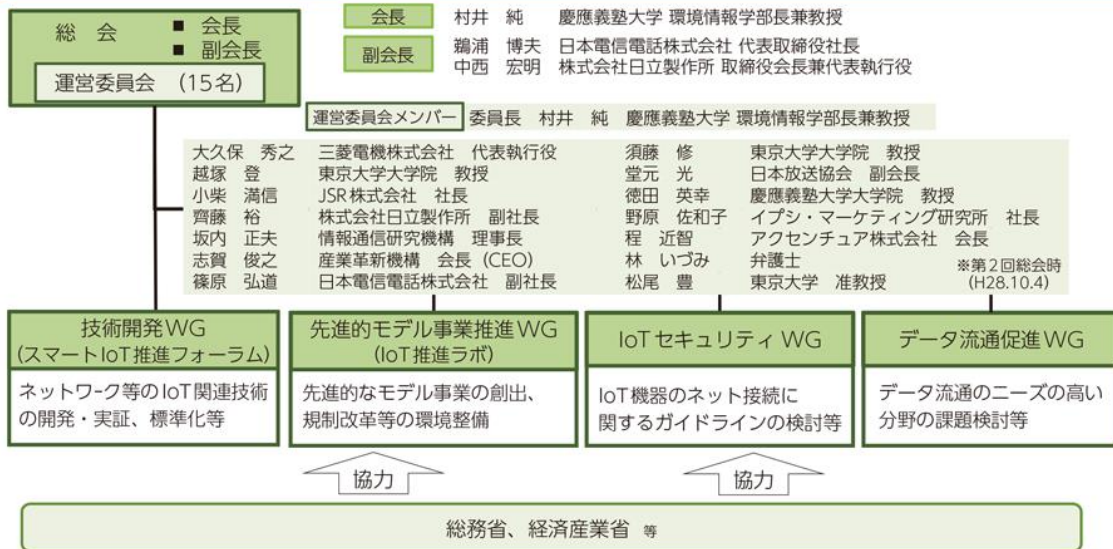
出所：総務省「IoT時代におけるICT産業の構造分析とICTによる経済成長への多面的貢献の検証に関する調査研究」

図 21 諸外国のIoTに関する政策的な取組

我が国では、総務省が「IoT/ビッグデータ時代に向けた新たな情報通信政策の在り方」について情報通信審議会による検討が進められているほか、IoT/ビッグデータ/AI等の発展による世界的な産業構造の変革にあたって、産学官が参画・連携し、IoT推進に関する技術の開発・実証や新たなビジネスモデルの創出推進するための体制を構築することを目的として「IoT推進コンソーシアム」が設立されている。

本コンソーシアムでは、産学官が参画・連携し、具体的にはIoTに関する技術開発・実証及び標準化等の推進、およびIoTに関する各種プロジェクトの創出及び当該プロジェクトの実施に必要となる規制改革に関する提言のとりまとめ等に取り組むこととしているほか、諸外国のIoT推進団体との連携等の国際展開の取組も進めている。

- IoT/ビッグデータ/人工知能時代に対応し、企業・業種の枠を超えて産学官で利活用を促進するため、総務省及び経済産業省の共同の呼びかけのもと、民主導の組織として「IoT推進コンソーシアム」を設立。(平成27年10月23日(金)に設立総会を開催。)
- 技術開発、利活用、政策課題の解決に向けた提言等を実施。(会員法人数2,957社(平成29年5月12日現在))



出所：総務省「平成29年版情報通信白書」

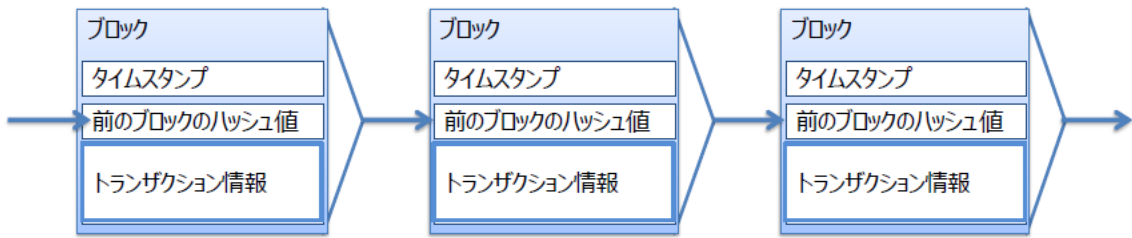
図 22 IoT 推進コンソーシアム

1.1.3. ブロックチェーン

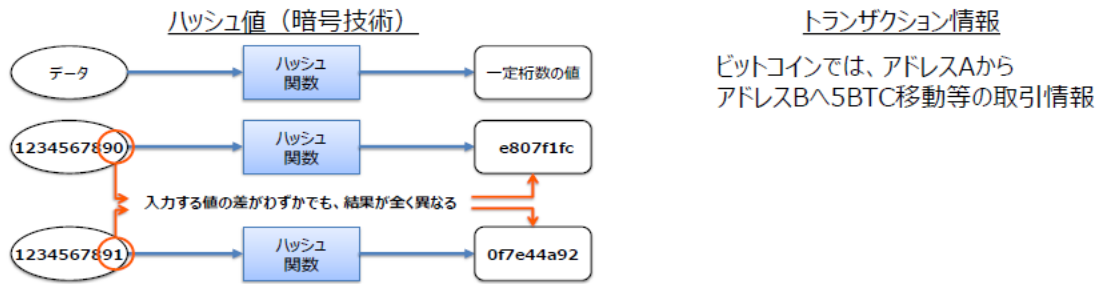
① 技術の概要

ブロックチェーンは「分散台帳技術」とも呼ばれ、様々な取引に関するデータベース、すなわち台帳情報を共通化して、個々のシステム内に同一の台帳情報を保有するという考え方を実現する技術である。もともと仮想通貨のひとつであるビットコインを実現させるために生まれた技術であり、いくつかの暗号技術がベースとなっている。

取引に関する情報を、ブロックチェーン上で参加者全員が共有するようになれば、データ連携も容易となり、台帳の更新時に参加者間で合意を取ることで、コストの掛かる第三者機関を必要とせず、内容の正当性と一貫性を確保することが可能となる。

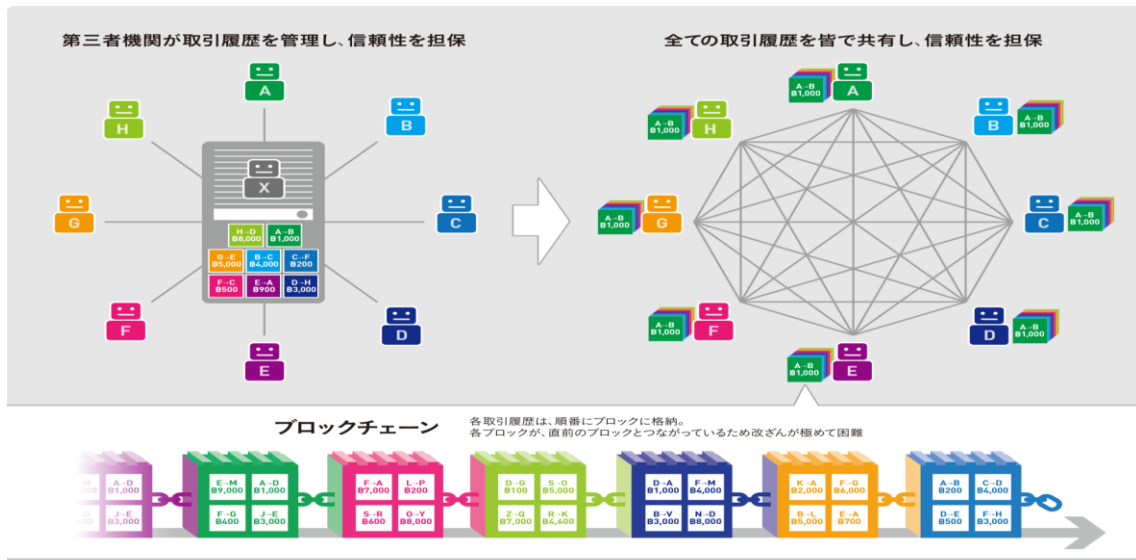


- ・トランザクション情報の集合等を含んだブロックがチェーン状に連なっているもの
- ・ネットワーク上の複数ノードが、新しいブロックを相互に承認し、チェーンに足していく



出所：経済産業省「IoT、AI、ビッグデータに関する経済産業省の取組について」 p.61

図 23 ブロックチェーンの概念図



出所：経済産業省「IoT、AI、ビッグデータに関する経済産業省の取組について」 p.60

図 24 ブロックチェーン技術がもたらす将来イメージ

② 社会に与える影響

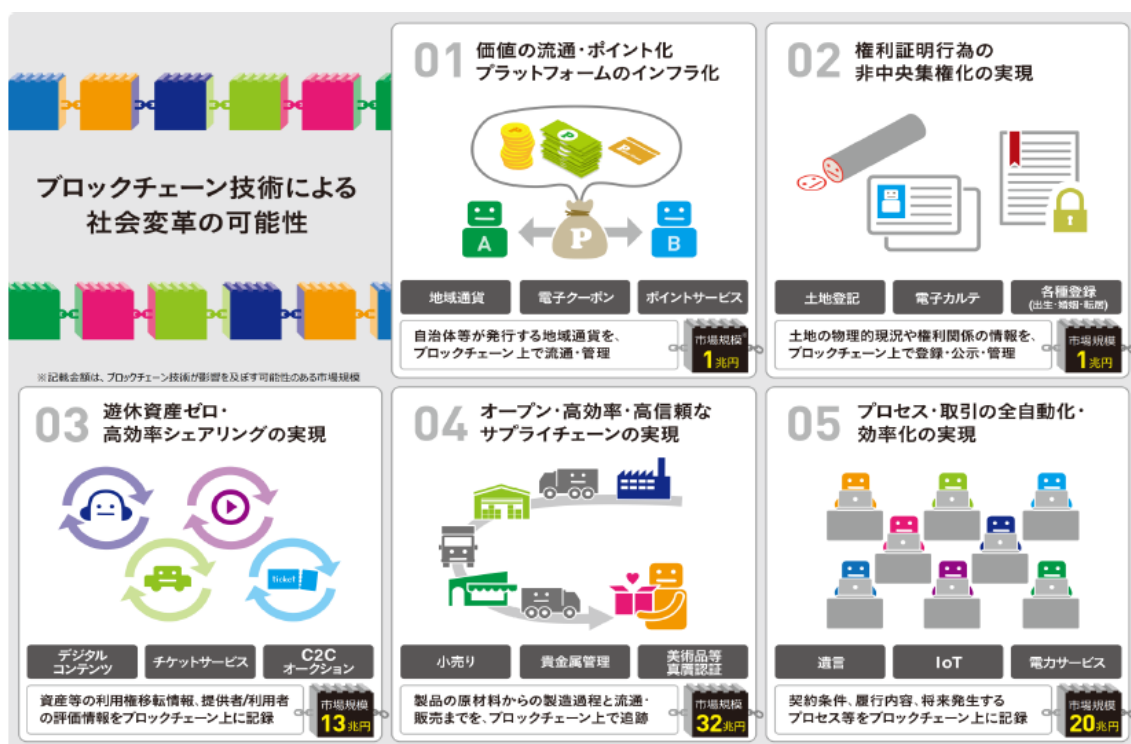
ブロックチェーン技術は、これまで経済活動の基盤となる取引相手の信頼性を担保するための手段として、構築してきた様々な制度や仕組みを代替し、従来の社会システムを大きく変容させる画期的な発明であるといえる。

例えば、信頼性担保の仕組みを例にとれば、従来は以下のような制度が構築されていた。

- ・ 格付け、会計監査：会社の弁済能力や会計の適切性の外部機関による評価
- ・ 公証人：第三者による適法性の担保
- ・ 登記：権利保有者の透明性の担保
- ・ 商法：会社が取引に参加するために必要な信頼を担保するためのルール
- ・ 中央銀行：通貨の発行主体であり、通貨の信用の担保機関

これらの制度を運営するために、冗長的な情報システム、運営・メンテナンス費用、組織を維持するための経営と従業員等、多大なコストを負担して中央集権的な第三者機関（中央機関）を構築してきたといえる。また、これらの運営・維持に掛かるコストは、基本的には利用者が利用料の中で負担してきた。

ブロックチェーン技術の採用により、参加者同士が対等の関係で相互に協力・監視することで、社会システム維持のために負担してきた多大なコストが不要となることが期待されている。



出所：経済産業省「IoT、AI、ビッグデータに関する経済産業省の取組について」 p.63

図 25 ブロックチェーン技術の展開が有望な事例とその市場規模

③ 現状と課題

今日、ブロックチェーン技術は改良を重ねながら、ビットコインから金融、さらには金融以外の分野にもユースケースを拡大しており、その様相から「ビットコイン 2.0」と呼ばれることもある。

金融系 決済 (SETL, FactoryBanking) 為替・送金・貯蓄等 (Ripple, Stellar) 証券取引 (Overstock, Symbiont, BitShares, Mirror, Hedgy) bitcoin取引 (itbit, Coinffeine) ソーシャルバンキング (ROSCA) 移民向け送金 (Toast) 新興国向け送金 (Bitpesa) イスラム向け送金/シャリア遵法 (Abra, Blossoms)	ポイント/リワード ギフトカード交換 (GyftBlock) アーティスト向けリワード (PopChest) アパイドカード (BuyAnyCoin) リワードトークン (Ribbit Rewards)	資産管理 bitcoinによる資産管理 (Uphold(旧Bitreserve)) 土地登記等の公証 (Factom)	商流管理 サプライチェーン (Skuchain) トラッキング管理 (Provenance) マーケットプレイス (OpenBazaar) 金保管 (Bitgold) ダイヤモンドの所有権 (Everledger) デジタルアセット管理・移転 (Colu)	公共 市政予算の可視化 (Mayors Chain) 投票 (Neutral Voting Bloc) バーチャル国家/宇宙開発 (BitNation/Spacechain) ヘッジングインカム (GroupCurrency)
	資金調達 アーティストエクイティ取引 (PeerTracks) クラウドファンディング (Swarm)	ストレージ データの保管 (Stroj, BigchainDB)		医療 医療情報 (BitHealth)
	コミュニケーション SNS (Synereo, Reveal) メッセンジャー、取引 (Getgems, Sendchat)	認証 デジタルID (ShoCard, OneName) アート作品所有権/真贋証明 (Ascribe/VeriSart) 薬品の真贋証明 (Block Verify)	コンテンツ ストリーミング (Streamium) ゲーム (Spells of Genesis, Voxelnauts)	IoT IoT (Adept, Filament) マイニング電球 (BitFury) マイニングチップ (21 Inc.)
		シェアリング ライドシェアリング (La'ZooZ)	将来予測 未来予測、市場予測 (Augur)	

出所：経済産業省「IoT、AI、ビッグデータに関する経済産業省の取組について」p.67

図 26 ブロックチェーン技術活用のユースケース

利用拡大が期待されるブロックチェーン技術だが、実際の社会システムに取り入れる際には、以下のような課題も挙げられている。

まず、最も大きな課題として、即時性に欠ける点が指摘されている。ブロックチェーンの種類によるものの、一般的には新しいブロックを生成するためのデータ処理の確定に、相応の時間（数秒～10分程度）を要することから、高速取引など即時性が必要なアプリケーションには不向きであるとされている。

次に、単位時間あたりの取引件数が限られていることが挙げられる。これは、規定されているブロックに格納できるデータ量には上限があることに加え、前述のとおり、新ブロック生成に時間を要することに起因する現象である。具体的に言えば、1秒間に処理できる取引（トランザクション）件数は、既存決済システム（VISA等）と比べて劣ることは避けられない。

さらに、実ビジネスでの運用手法等が確立されていないことも課題である。実事業への適用例が少ないこともあり、ブロックチェーンに関わる性能要件や仕様が明確ではなく、いわゆるSLA(Service Level Agreement)が整備されていない。

これらの課題を抱えつつも、今後は様々な用途に活用フィールドを拡げながら、運用を通してこれら課題に対する解決手法が開発されることが期待できる。

④ 国内・海外での位置づけ

海外においては、大企業や行政も巻き込み、様々な分野での実証が展開されつつある。また、国内においてもベンチャー・スタートアップ企業を中心に、様々なサービス開発や提供が始まっており、今後は大企業における利活用が進むことが期待される。

NASDAQ

Chain社 他

ブロックチェーン技術を活用した未公開株式取引システム「Nasdaq Linq」を発表。



ADEPT

IBM社、Samsung社

膨大な機器を管理し、制御するIoT時代に対応するため、洗濯機が自律的に洗剤を補充する契約を締結・履行する分散的なシステムを実証。



FACTOM社

土地の登記簿本の記録管理の実現。中国における「スマートシティ計画」にも参画。



エストニア行政

Bitnation社

国民の医療データの記録管理に改ざんが難しいブロックチェーン技術を活用すべく利用試験開始。



Everledger社

ダイヤモンドの所有権や権利移転履歴の証明に元帳として、シリアル番号、4C（カラット数等）等のデータをブロックチェーン上に記録。すでに100万近くのダイヤモンドの記録が載っている。



各社HP等より引用

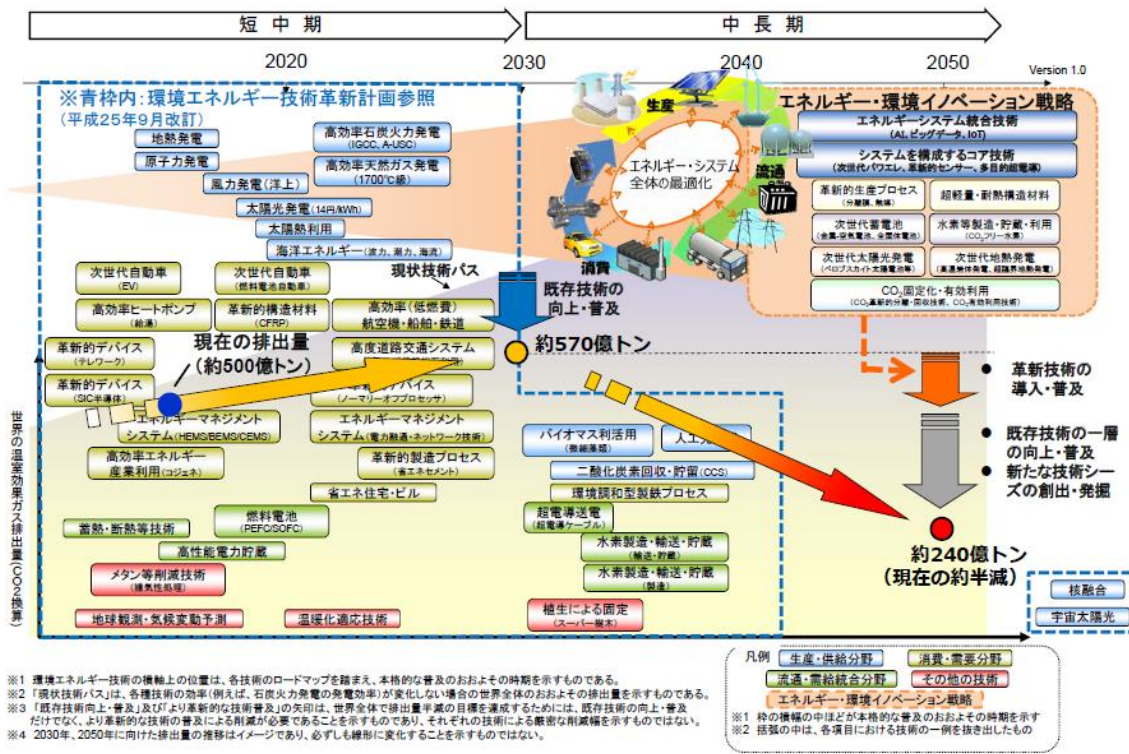
出所：経済産業省「IoT、AI、ビッグデータに関する経済産業省の取組について」

図 27 ブロックチェーン技術に関する海外事例

1.2. 想定される電力事業への影響

1.2.1. 電力事業に影響を与えうる要因

内閣府総合科学技術・イノベーション会議は、「エネルギー・環境イノベーション戦略」を2016年4月に発表した。この中で、AI・ビッグデータ・IoTについては、エネルギーシステム統合技術の例として明示されている。



出所：内閣府 総合化学技術・イノベーション会議「エネルギー・環境イノベーション戦略」参考資料

図 28 2050年までの世界の温室効果ガス削減のイメージ

電力事業の運営において、最も重要なのは常に需要と供給を一致させる「同時同量」である。その意味では、電力事業はネットワーク事業であるといえ、生産者たる発電所と、消費者たる需要家が、送配電網というインフラを通じて直接繋がっていることに特徴がある。電力事業においては、ネットワークを通じて需給を一致させるため、緻密な管理や制御が求められる。

近年、再生可能エネルギーを初めとする分散型エネルギーが導入量を増大していることにより、「同時同量」を達成するための管理・制御の難易度が上昇している。今後、再生可能エネルギーの導入が一層進む可能性を考えれば、コストを掛けずかつ精緻な需給調整技術が求められる状況にある。このようなニーズは、AI・IoT・ブロックチェーン等、台頭するデジタル技術で解決することが可能と目されている。

電力事業の部門別にみると、発電部門や送電部門は、現場で得られるリアルデータの塊であると言える。他方で、労働力減少により、現場の作業員確保が困難となる中、熟練のノウハウ、いわゆる「匠の技」を引き継ぐことも求められている。すなわち、IT（情報技術）だけでなく、OT（運用技術）を適切に組み合わせることで、初めて付加価値が生まれる分野だといえ、AIやIoTとの親和性が予見される。

配電部門や小売部門については、コモディティ化が進む電気という商品を販売する際に、

いかに付加価値を高め、差別化により顧客への訴求力を高めることが重要となる。また、需要家の生活に近いがゆえに、AI・IoT・ブロックチェーン技術等のデジタル技術およびデータ利活用等の観点から、生活の質を高めるようなサービス提供の可能性も示唆されている。

一方で外部環境に目を転じると、国内における今後の電力産業を見ると、電力需要が人口減少等により頭打ちあるいは減少することが見込まれる一方で、送配電分野を中心に老朽化した設備の維持管理や更新の必要性が高まることなど、経営環境は厳しさを増すことが懸念される。

こうした経営環境変化の中で、AI・IoT・ブロックチェーン等の新たな技術は、電力産業が抱える課題の解決のみに留まらず、国内外での競争力を強化することができるポテンシャルを秘めているといえる。新たなデジタル技術は、電力事業に与える影響は、単に従来ならびに将来の課題を解決する手段となるだけでなく、新たな産業を創出し、収益性を向上させる有用な方策となり得るといえる。

1.2.2. 海外企業の戦略事例

近年、GAF A (Google, Apple, Facebook, Amazon) とも称される巨大 IT 企業が、新たなデジタル技術を活かして代替的付加価値を生み出し、急速に成長している。しかし、これらの企業においても、社会インフラなどの領域への入り込みは、現時点では十分ではない。その一因としては、特に社会インフラ事業においては、デジタルに加えてアナログの力が必要であることが理由にあると考えられる。

このような背景もあり、海外においては、高度なデジタル技術を有する IT・ベンチャー企業の電力分野への進出が活発化すると共に、電力会社と IT・ベンチャー企業さらには機器メーカーとの新たな協働の在り方が模索されるなど、デジタル技術の発展が従来の産業構造に変化をもたらしつつある。

特に欧米のエネルギー企業では、近年、ベンチャー投資による次世代エネルギー技術の発掘や、M&A を通じた取り込み等、中長期的に新たな価値やサービスを創出すべく技術の発掘・取り込みの動きが活発になっている。絶え間なく続く事業環境の変化に備えて、その対応の選択肢を増やすため、各社それぞれの戦略に基づき、新しい技術の発掘・取り込みに力を入れている。

企業名	金額規模※1	投資先	投資対象
Engie (フランス)	138 億円	AMS (エネルギー貯蔵)、 Powerdale (EV インフラ) 他 12 件	分散型電源、エネルギー貯蔵、モビリティ等
RWE (ドイツ) ※2	90 億円以上	Mantex (バイオマス) 他 5 件	再エネ、カーボンニュートラル等
Iberdrola (スペイン)	84 億円	Oceantec (潮力発電) 等	再エネ、分散型電源、効率化等
Exelon (アメリカ)	56 億円	C3 Energy (スマートグリッド)	エネルギー関連ベンチャー
EDF (フランス)	36 億円	seatower (洋上風力)、 firstfuel (BEMS)	スマートシティ、モビリティ他
E.ON (ドイツ)	3.6～6 億円/件	Green Smith (エネルギー貯蔵)、 Bidghly (エネルギーマネジメント) 他 13 件	スマートグリッド、分散型電源、再エネ等
ENEL (イタリア)	7.2 億円	i-EM (エネルギーマネジメント) 等 80 件	エネルギー貯蔵、データ解析等
東京電力	5.5 億円	Spark Fund (エネルギーサービス)、 opus one (スマートグリッド) 他 3 件	低炭素化、分散化、デジタル化等

※1：企業からベンチャーキャピタル等への出資額。120 円/ユーロ、110 円/ドルにて換算。

※2：2016 年 9 月、子会社として Innogy を設立し、再エネ・ネットワーク・小売事業と併せてスタートアップへの投資事業も継承。

出所：資源エネルギー庁「平成 28 年度エネルギーに関する年次報告」p.82 より
日本総研作成

図 29 エネルギー企業のスタートアップ投資

投資への取組の一例として、ヨーロッパ有数の大手エネルギー企業である E.ON (エーオン) 社を取り上げる。E.ON 社は、2000 年にプロイセン電力とバイエルン電力が合併して誕生した、ドイツの四大電力会社のうちのひとつである。近年は、送電部門・発電部門の大部分を売却・分離して、専ら再生可能エネルギー発電、配電および小売を事業の中心としている。

そのような背景から、E.ON 社は事業環境の変化に対応するため、分散電源や需要をマネジメントする需給制御技術、需要家向けサービス技術を保有するスタートアップ企業に対する投資戦略を、積極的に進めている。投資先の選定にあたっては、「リテールソリューション」「再生可能エネルギー」「インフラおよびエネルギーネットワーク」「エネルギーシステム」の 4 項目をイノベーションハブとして検討しており、ヨーロッパのみならず、アメリカのスタートアップ企業への投資先も多い。



出所：E.ON 社ウェブサイトより日本総研作成

図 30 E.ON 社の投資先スタートアップ企業例

欧米の企業は、シリコンバレー等のベンチャー企業への投資や、技術を所有する企業の M&A などにより、他社の技術・サービス・人材を効率的に発掘し、取り込もうとする姿勢が顕著に表れている。近年では、再エネ関連技術、蓄電技術、分散型電源等の制御技術、ビッグデータ解析など、新たな付加価値を生み出すビジネスを実現する上で重要となる技術に投資が集まっている。

我が国でも、東京電力がアメリカのベンチャーキャピタルファンドである Energy Impact Fund に投資を決定するなど、欧米と同様の動きが見えつつある。今後も、世界の動向にキャッチアップすべく、欧米のエネルギー企業の戦略については注視していく必要があるだろう。

2. 将来の電力事業に影響を与える要素技術を用いた事例

技術革新がもたらす将来的な電力事業へのインパクト等の検討のため、文献・関連研究の調査、国内外の関連レポート調査、関係者・有識者・関係企業等へのヒアリングによる調査を行った。

2.1. AI

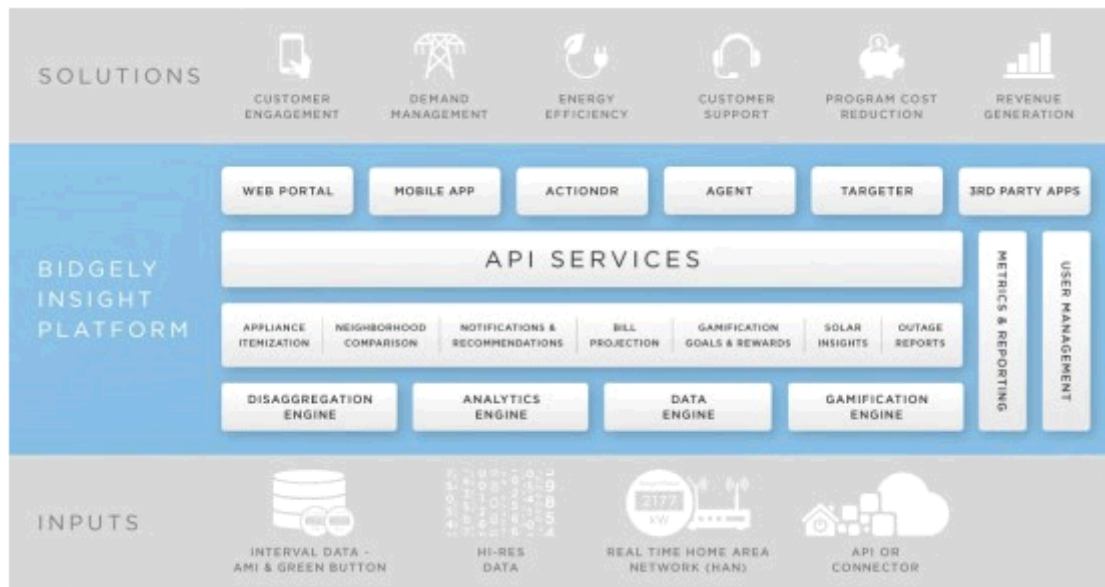
2.1.1. Bidgely

Bidgely（ビジェリ）社は、2011年に設立された米国のスタートアップ企業である。一般家庭向け電力管理サービスを提供している。2017年2月時点で、資金調達額は2,460万ドル、従業員数は50人を超える規模に成長している。

Bidgely社は、電力会社に対して、電力データの利用明細を提供するサービスを提供している。電力会社にとっては、電力データの利用明細を自社顧客に無料で提供することで、顧客の電力利用の効率化を促したり、顧客の満足度向上に繋がったりすることができる。サービスの提供形態としてSaaS（Software as a Service）を採用しており、年間の利用世帯数に応じて電力会社に料金を請求する。

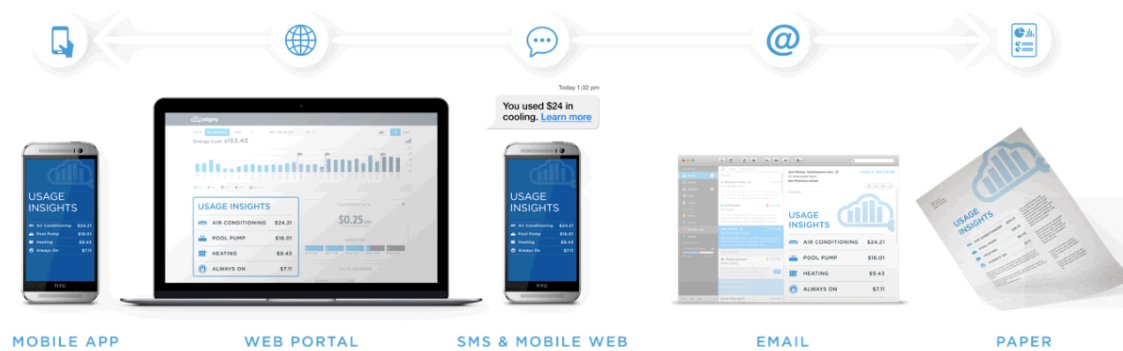
2017年12月時点には、欧米、オーストラリア、ニュージーランドなど10カ国25企業と連携しており、これらの顧客の契約件数は1,000万件を超える。また、innogy社やE.ON社など、欧州の大手エネルギー企業とも取引がある。

Bidgely社は理念として、一般家庭におけるエネルギー消費のあり方を変えることと、低コストの技術確立を掲げている。「電力の利用明細発行」というこれまでなかったサービスを通じて、家庭の電力消費削減やコスト節約、さらに地球全体の無駄な電力消費量を減らすような、社会にインパクトを与える企業を目指している。



出所：The SV Startup100 ウェブサイト

図 31 Bidgely 社の活用技術



出所：Bidgely 社ウェブサイト

図 32 Bidgely 社の様々なアプローチ方法

Bidgely 社は、2017 年 7 月、中部電力と共同でサービス検証を開始している。これは、約 100 件のモニターを対象に、家庭全体の電気使用量から、家電ごとの電気使用量を推定する技術を活用している。

また、Bidgely 社は、天候などのデータと組み合わせて AI 分析による、ディスアグリゲーション（分電盤で計測する電流波形から、機器の状態と消費電力を推定すること）技術を保有している。この技術を活用して、HEMS 機器等を新たに設置することなく家電ごとの使用量を推定し、電力の見える化レポートを作成することを可能としている。

この検証により、モニター顧客からのフィードバックを通じて、日本の一般家庭における家電の使い方や生活スタイルごとの分析が可能か等、日本国内におけるサービスの実用性を検証するとしている。



出所: 中部電力プレスリリース「AIを活用した電気使用量の分析技術の検証開始について」

図 33 Bidgely 社の分析を活用したサービス検討イメージ

2.1.2. 日本住宅サービス

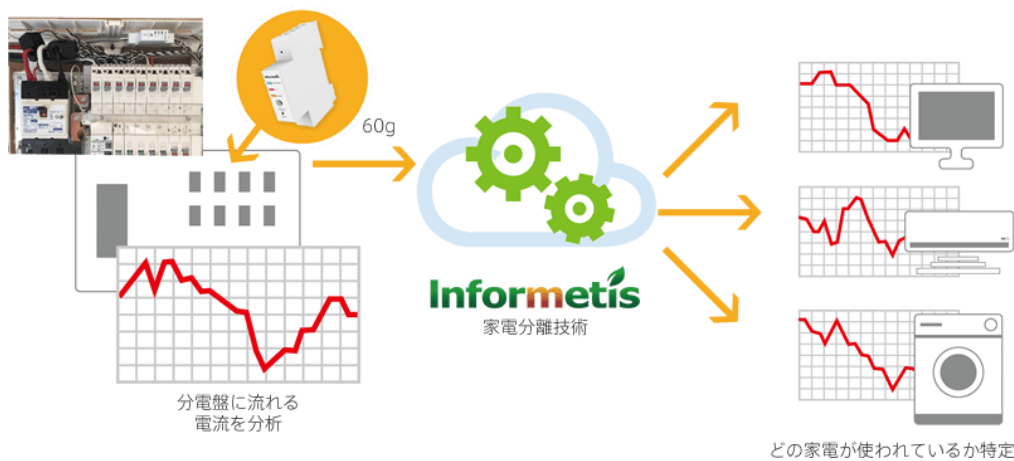
日本住宅サービス株式会社は、住宅向けに「AIHEMS」サービスを販売している。これは、AIを搭載したメーターを分電盤に設置し、家電分離技術を利用してどの家電が使われているかを特定するものである。需要家に向けては、①電力利用の見える化、②見守りが可能となることが特徴である。技術やサービス内容は、前述の Bidgely 社と類似している。

AIHEMS の基本パックには「HEMS 機器」「見える化アプリ」「設定訪問工事」「トラブル時駆けつけ」が含まれている。また、オプションとして「スマートロック（自宅のドアロックをスマートフォンで開錠）」「赤外線学習リモコン（スマホを家電・AV機器のリモコンとして利用）」が提供されている。



出所：日本住宅サービス株式会社 ウェブサイト

図 34 AI を搭載したメーター



出所：日本住宅サービス株式会社 ウェブサイト

図 35 インフォメティス社による家電分離技術 (AIHEMS の採用技術)

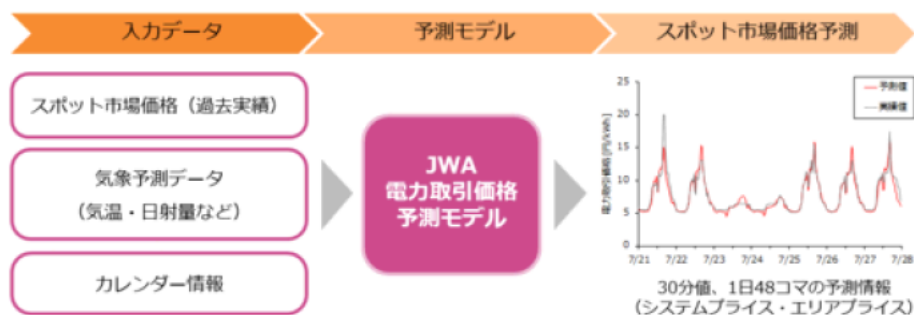
2.1.3. 日本気象協会

日本気象協会では、卸電力市場の一日前市場（スポット市場）における電力取引価格を予測するシステム（プライス予測）を開発した。

プライス予測では、気温や日射量をはじめとした日本気象協会独自の気象予測データを用いて、気象ビッグデータ分析と人工知能（AI）による解析技術をもとに予測する。また「電力需要予測サービス」や「太陽光発電出力予測サービス」のノウハウを活用し、電力の需要・供給を考慮することも可能。翌日を対象としたスポット市場における 30 分ごとの電力取引価格を予測する。

また、全国 9 エリアごとのプライス予測にも対応し、サービスを拡充している。このエリアプライス予測の提供開始により、小売電気事業者や発電事業者は、全国 9 エリアの市場価格やそのエリア間の価格差を考慮した、より経済的かつ効率的な電力調達計画の作成に活用することができるとしている。

サービス活用例としては、小売電気事業者での電力調達計画の作成等を想定している。市場調達コストを算出し、最適な調達計画を作成するなど、電力の調達・販売に関する経済的な取引の実現に活用できる。



出所：日本気象協会ニュースリリース

図 36 電力取引価格予測システムの概要

項目	内容
予測対象	一日前市場（スポット市場）
データ内容	①スポット市場取引価格（30分単位、1日48コマ） <ul style="list-style-type: none"> ・システムプライス ・エリアプライス（全国9エリア） ②スポット市場インデックス <ul style="list-style-type: none"> ・DA-24（00:00～24:00 平均値） ・DA-DT（08:00～22:00 平均値） ・DA-PT（13:00～16:00 平均値） ※単位：[円/kWh]
発表時間	受渡日の前々日 14時 受渡日の前々日 20時 受渡日の前日 02時 受渡日の前日 08時
提供方法	オンライン配信

出所：日本気象協会ニュースリリース

図 37 電力取引価格予測サービス内容

2.1.4. オプティマイザー

株式会社オプティマイザーは、NEDO の「平成 28 年度新エネルギーベンチャー技術革新事業」にて「再生可能エネルギー発電対応の人工知能によるリアルタイム入札自動化技術の開発」として採択され、研究開発が進められている。

人工知能を活用した研究開発内容として、「再エネの発電予測」「電力需要予測」「電力の需給管理」「卸売り市場に入札する仕組み」「電力流通を統合管理できる、「クラウド型」のサービス開発」等が挙げられている。

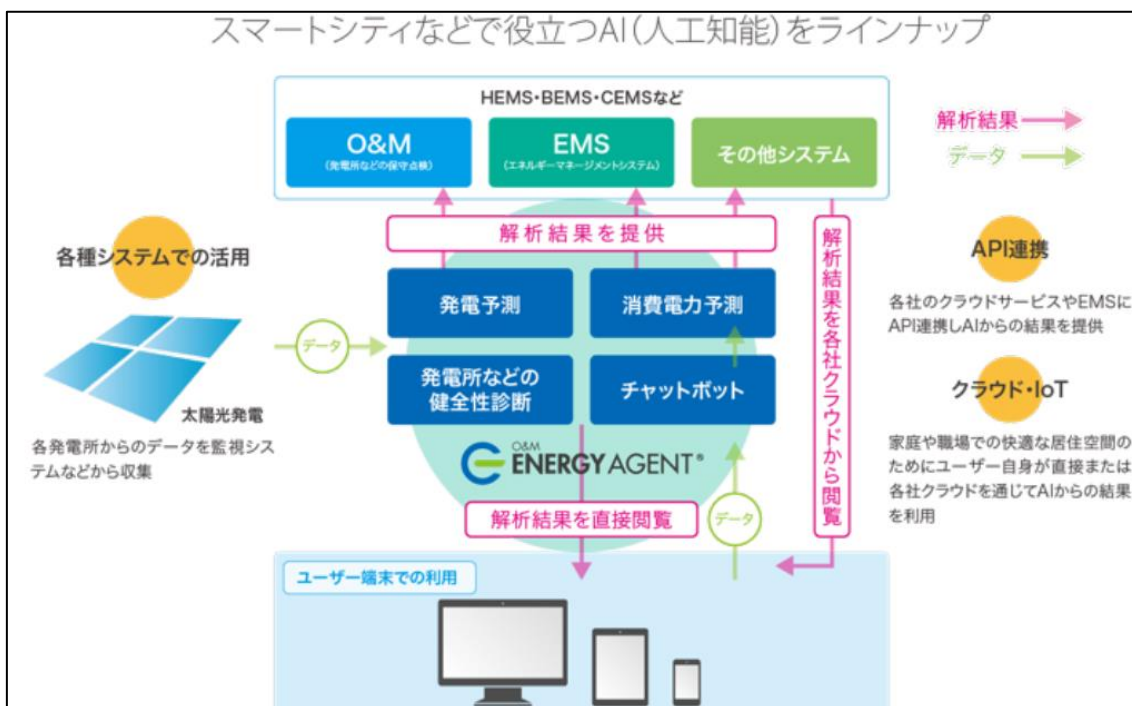


出所：株式会社オプティマイザー プレスリリース

図 38 オプティマイザーの事業内容

2.1.5. FKAIR

株式会社 FKAIR（藤崎京都人工知能研究所）は、京都大学が中心となって設立された。AI によって「PV の発電予測」「発電所などの健全性診断」「消費電力予測」等のサービスを提供するとしている。



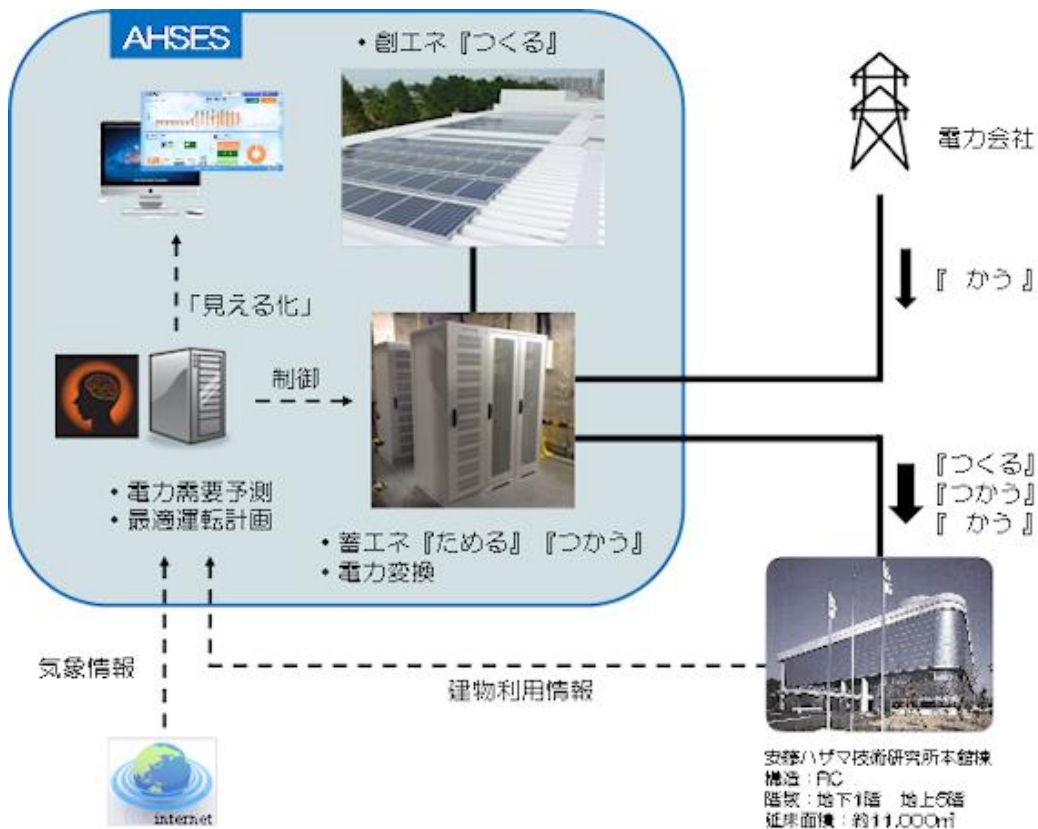
出所：近畿経済産業局「第2回スマートエネルギー推進セミナー IoT技術、AI技術のエネルギーシステムへの適用」講演3

図 39 FKAIR の事業内容

2.1.6. 安藤ハザマ

安藤ハザマは、施設向けに AI（人工知能）を採用した EMS を含むスマートエネルギーシステム（AHSES: Adjusting to Human Smart Energy System）を開発した。AHSES の特徴としては、以下の項目が挙げられている。

- ・ 電力需要を予測し最適な運転計画をつくるプログラム、創エネ設備、蓄エネ設備、電力変換装置およびエネルギーの運用状況を確認する「見える化」画面から構成。
- ・ 建物の利用や気象の情報を基に、機械学習と数理手法により電力需要予測および最適運転計画を行い、創エネ設備と蓄エネ設備から最適なタイミングで電力をアシスト。
- ・ 分散型電源を直流で接続することにより、スムーズな充放電制御を実現。また、建物規模に応じて柔軟にシステムを拡張・縮小することが可能。
- ・ 分単位のリアルタイム制御により、今後、各電力会社が導入予定のダイナミックプライシングへの対応が可能。
- ・ 非常時の自立電源として、サーバ等の重要負荷に電力を供給する機能有。



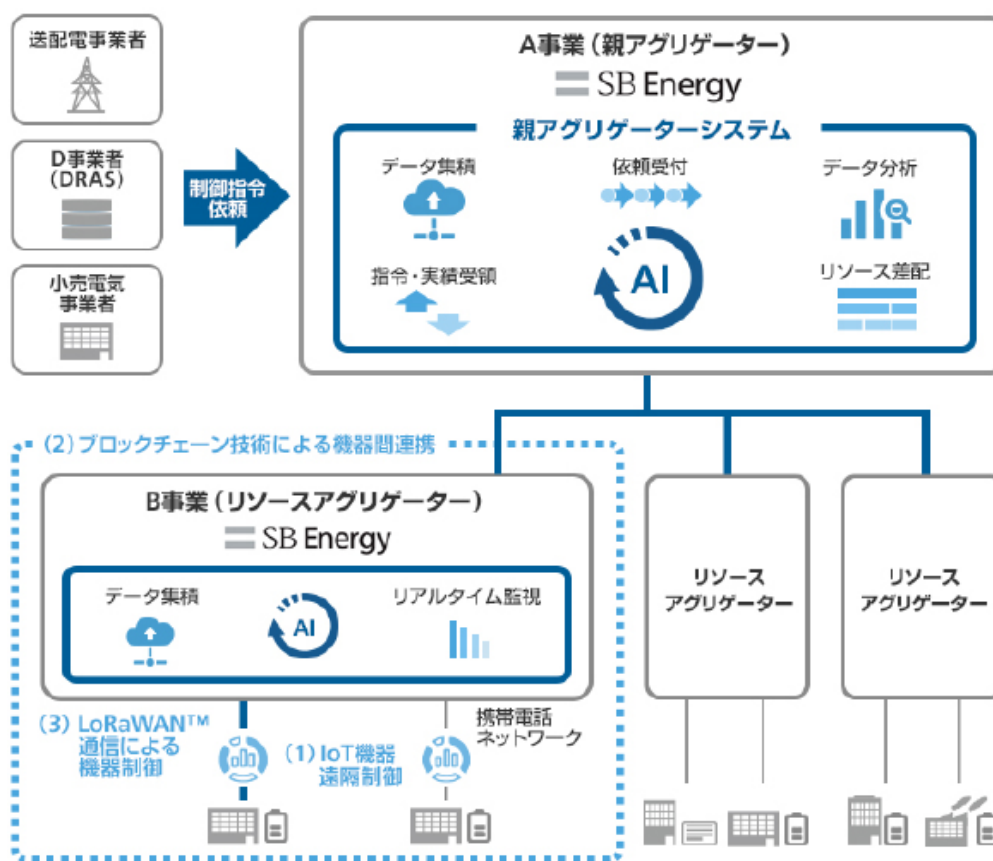
出所：安藤ハザマ ホームページ「AI（人工知能）を活用した スマートエネルギーシステム（AHSES）を開発 - スマートな分散型エネルギーシステムの運用を実現 -」

図 40 AHSES の概要

2.1.7. SB エナジー

経済産業省のVPP実証事業にて、SB エナジーはAIを活用した①「VPP構築実証事業」と②「リソースアグリゲーター事業」を2017年7月～2018年2月に九州にて実施した。本実証においては、AIを用いた親アグリゲーターシステムの構築を目指すとしている。

AIは、送配電事業者等からのデマンドレスポンス指令を受領して解析し、親アグリゲーターからの充放電指示対象となる各リソースアグリゲーターの保有蓄電リソースデータと照らし合わせ、独自のアルゴリズムに基づいてリソースアグリゲーターの選定を行う自己学習型ビジネスロジックを用いた親アグリゲーターシステムを構築する際の技術として用いられている。



出所：SB エナジー株式会社プレスリリース

図 41 VPP 構築実証事業全体イメージ

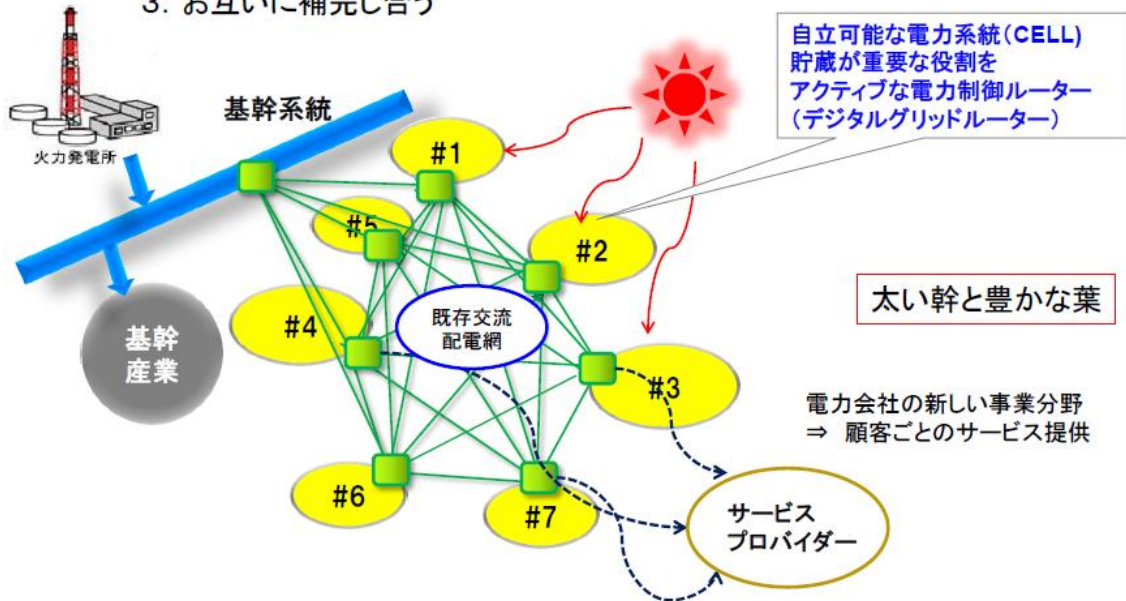
2.2. IoT

2.2.1. デジタルグリッド

デジタルグリッドとは、情報工学と電力工学の技術を用いて、電力をインターネット上の通信のように自由にやり取りできる技術のことである。電力系統内において、情報により指定された複数のインバータ等を同時に動作させて電力を非同期に制御することにより、制御した電力を識別可能としている。ここでは、IoT 技術を用いた事例として取り上げる。

デジタルグリッドの採用によって得られる効用としては、太陽光発電等の再生可能エネルギーの変動による停電連鎖が起きにくいこと、電力系統に周波数を安定化するアンシラリーサービスがセル単位で提供できること等が挙げられている。また、このような特徴から、電力系統が発達していないアフリカ等の発展途上国におけるニーズを見込み、実証試験等を実施している。

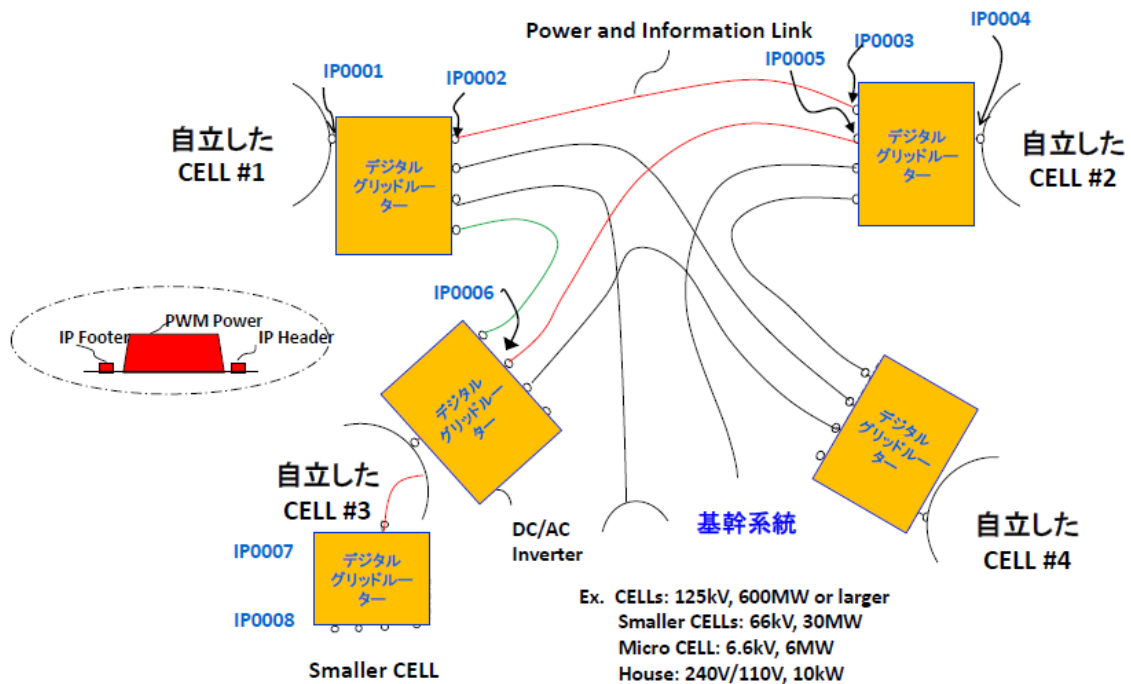
1. 基幹系統は、安価で安定な電力を基幹産業に供給
2. 民生用は、自然エネルギーを取り込み電力貯蔵で平滑化
3. お互いに補完し合う



出所：東京大学 阿部特任教授（現デジタルグリッド株式会社代表取締役会長）
「情報と電力の融合するデジタルグリッドの提案」 p.27

図 42 デジタルグリッドのイメージ

デジタルグリッド技術では、連系点にアドレスを付与し、アドレス情報を含んだ電力情報と電力本体を同期させて流すことで、本来は識別不可能な電気が、どのような経路を通ったかが分かるため、“識別”することが可能となる。



出所：東京大学 阿部特任教授（現デジタルグリッド株式会社代表取締役会長）

「情報と電力の融合するデジタルグリッドの提案」 p.29

図 43 デジタルグリッドにおける電気の識別イメージ

デジタルグリッド社では、デジタルグリッド技術を活用した、様々なサービスを提案している。そのひとつである小売プラットフォーム事業は、小売電気事業者（サービスプロバイダー）が取りまとめる中小規模の電力需要を直接電源と結び付け、自動取引する電力売買プラットフォーム事業である。

小売プラットフォーム事業においては、デジタルグリッド社はプラットフォームを運営し、小売電気事業者が利用者としてサービスプロバイダーになるという体制を採る。提供するサービス内容としては、サービスプロバイダーの顧客の顧客管理・需給管理を完全自動化することになる。顧客とサービスプロバイダー間の料金設定、サービス内容などは、各サービスプロバイダーが自由に決めることが可能である。

事業の効用として、以下3点が挙げられている。いずれも小売電気事業者をターゲットとして、管理コストの低減から、電力融通や顧客への付加価値サービスの提供等、デジタルグリッド技術を活かして電力小売事業だけに留まらないサービス提供を提案していることが特徴である。

① 全国店舗電力管理工数の低減

高価なエネマネシステムを導入せずとも、チェーン店における各店舗の電力情報の集計の管理工数を大幅に低減できる。さらに、低コスト電力調達・低炭素化に向け、時々刻々

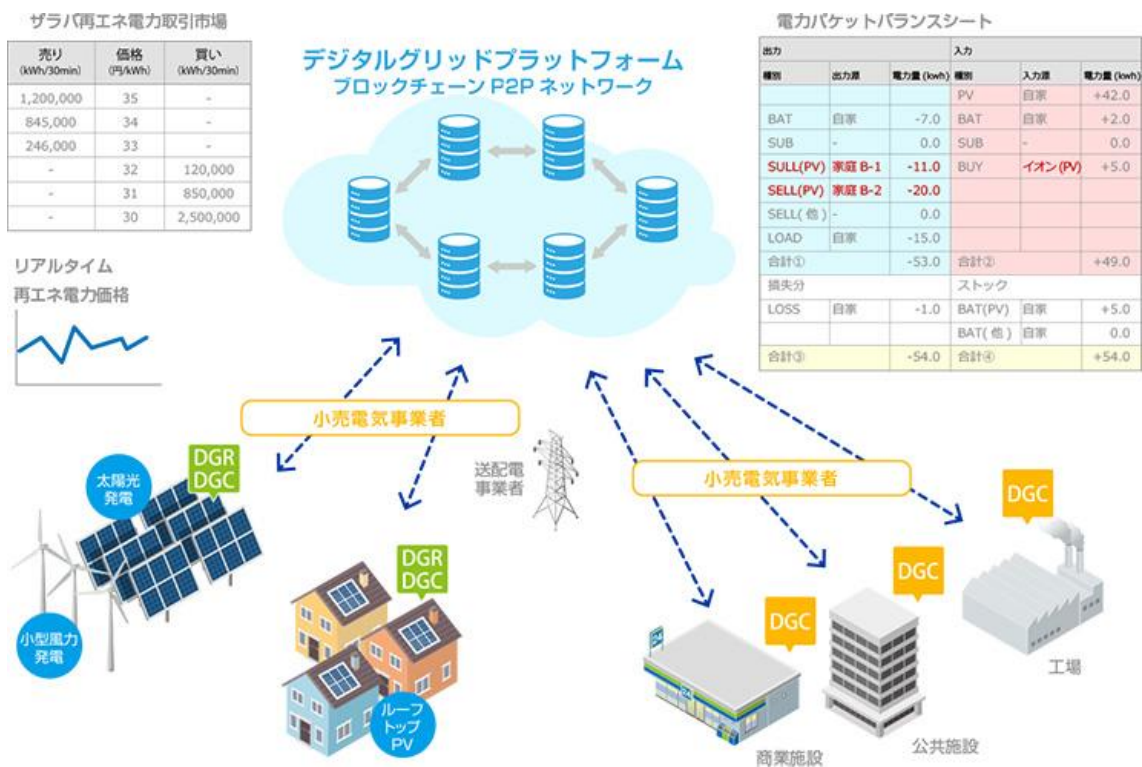
と変わる単価推移を踏まえつつ、柔軟に調達先を変えることや、調達ポリシーを見直すことも可能。

② 小売グループ内の電力融通

小売グループ等の事業所間で、自家発電の余剰電力の自己託送制度を用いた融通により、電力コストの低減や、自家発電設備の保有価値向上を実現する。

③ ポイント処理を活用した顧客囲い込み

グループ店舗の近隣の住民との電力融通を、グループ内ポイントに還元することも可能。さらに、タイムセールに活用するなど、顧客囲い込みのツールとして活用することもできる。



出所：デジタルグリッド株式会社ウェブサイト

図 44 デジタルグリッドを用いた小売プラットフォーム事業

2.2.2. スマートスピーカー等を活用した事例

スマートスピーカーとは、Wi-Fi や Bluetooth 等の無線通信接続機能と、音声で操作できるアシスタント機能を併せ持つスピーカーのことである。音声認識等に AI を用いている商品も多いが、ここでは家庭内の IoT を代表する機器として取り上げる。

2014年頃から市場に登場し始め、代表的な製品としては Amazon 社「Amazon Echo」、Google 社「Google Home」、Apple 社「HomePod」等がある。Amazon Echo は搭載されている AI アシスタントの名称である「アレクサ (Alexa)」、Google Home は「OK, Google」等の「ウェイクワード (Wake Word)」と呼ばれる単語が設定されている。ユーザーは、ウェイクワードに続いて「音楽を掛けて」等の指示を伝えることで、スピーカーがそれに応じて反応する。

このような大手 IT 企業が挙って参入している理由としては、家庭内の暮らしに関するデータについては、スマートフォンによっても、なお収集および分析しきれていない状況にあることから、ビッグデータを資産としている Google や Amazon 等が、家庭内データを収集するプラットフォームとして、そしてゆくゆくは家庭内の「コントロールタワー」の役割を狙って、製品を投入していることが推測される。



出所：Amazon 社・Google 社ウェブサイト

図 45 スマートスピーカーの代表的製品（左：Amazon Echo、右：Google Home）

スマートスピーカーを HEMS と組み合わせて、電力を含むエネルギーの制御に用いる製品やサービスも多く販売されている。

国内でもスマートスピーカーの普及に伴って、様々なサービスが登場し始めている。

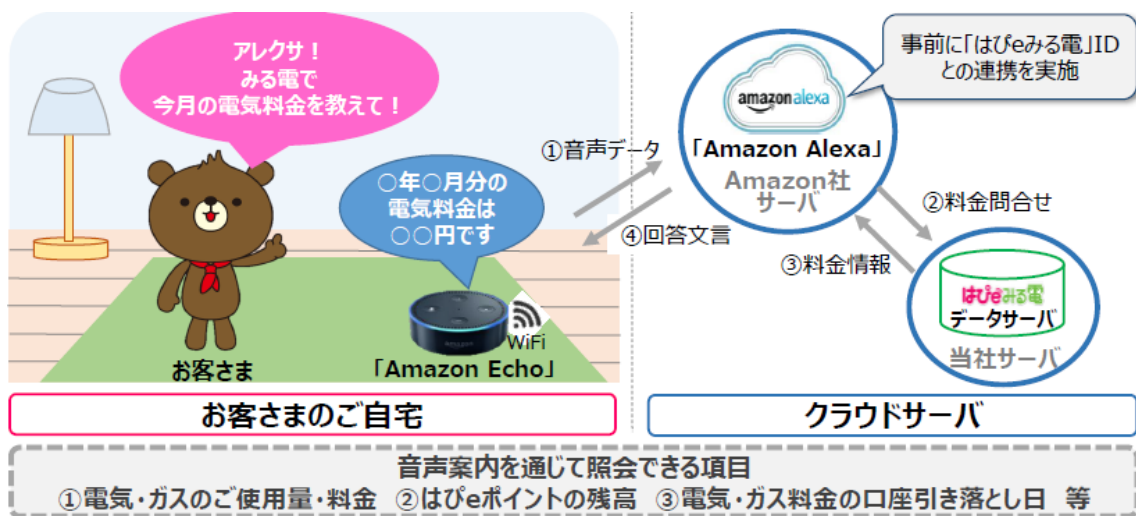
大阪ガスは、燃料電池やガス給湯器を導入している顧客を対象として、Amazon Echo を通じて、風呂の湯張りや床暖房の操作ができたり、湯の使用量から住人の安否を確認するなどのサービスを提供している。

また、関西電力は、Amazon Echo を通じて、電気・ガスの使用量や料金、ポイント残高の確認等が音声案内により可能となるサービスを開始している。



出所：大阪ガス株式会社ニュースリリース

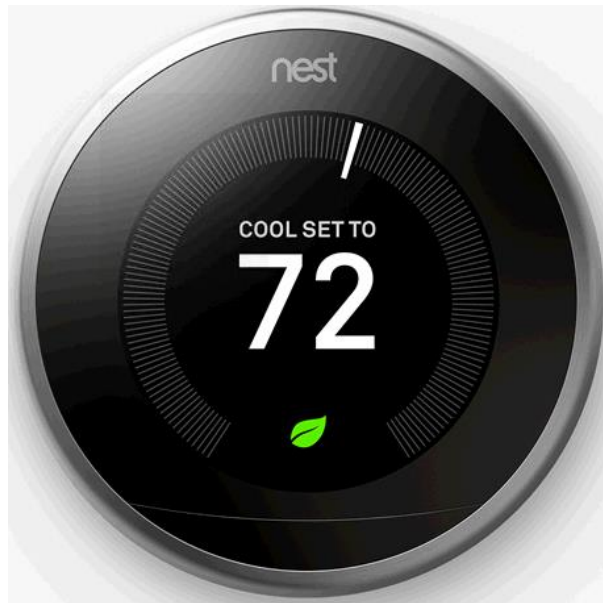
図 46 大阪ガスのスマートスピーカーを活用したサービス提供例



出所：関西電力株式会社プレスリリース資料

図 47 関西電力「はぴeみる電」サービス

また、スマートスピーカーと併せて活用できる機器として、海外における代表的なサービスに、Google 社傘下の Nest 社が開発したサーモスタット（温湿度計）がある。これは、室内の温度や湿度を感知したうえで、最適な環境に保つよう空調機器を自動制御する機能を持っている。空調機器の最適制御により、電力消費量が削減できる効果が得られるとしている。また、スマートスピーカーと併せて利用することも可能であり、音声によって空調機器の制御が可能となる。



出所：Nest 社ウェブサイト

図 48 Nest Thermostat

このように、家庭内における IoT を活用した機器は、データを収集して家電等を最適に制御したり、音声による情報発信の役割を担う等の利用が為されている。今後は、さらに機器やサービスの拡大により、家庭内のあらゆる機器が自動で制御される「コントロールタワー」化が進み、住民が快適な生活を送るために欠かせないデバイスとなることが想定される。

2.3. ブロックチェーン

2.3.1. Brooklyn Microgrid

Brooklyn Microgrid (BMG) プロジェクトは、アメリカ・ニューヨーク州ブルックリン地区における、スマートメーターを活用したリアルタイムの需給取引により、個人が太陽光発電システムで発電した電力を他の消費者に融通する取り組みである。住民は、自宅で発電した電力をグリッドに流し、近隣に直接販売できる。

BMG プロジェクトは、世界初のブロックチェーン技術を用いて構築されたマイクログリッドとして知られている。このシステムは既存のインフラ上に構築されており、電力会社は手数料とメンテナンス費用を得ている。加入者は、ブロックチェーンに対応したスマートメーターを設置し、自宅の発電量と消費量を記録する。自動的に記録される「スマート契約」機能により、近所の住民同士で電力を取引する一方、取引データはブロックチェーンで記録される。

2017 年 12 月時点で、太陽光発電の供給側は 60 戸、需要家側は 500 戸が参加している。



出所：LO3 Energy 社ウェブサイト

図 49 Brooklyn Microgrid のウェブサイト

BMG プロジェクトは、LO3 Energy 社と ConsenSys 社とが共同設立（JV）した TransActive Grid 社がシステム構築・運営を担っている。

このうち LO3 Energy 社は、2012 年にアメリカで設立されたベンチャー企業である。ブロックチェーン技術を活用したピア・ツー・ピア（P2P）型のエネルギー取引に関する技術開発や事業を行っている。主に、ドイツ・Siemens 社から資金を調達しているほか、Braemar Energy Ventures および Centrica Innovations 等のエネルギーベンチャーキャピタルからも投資を受けている。

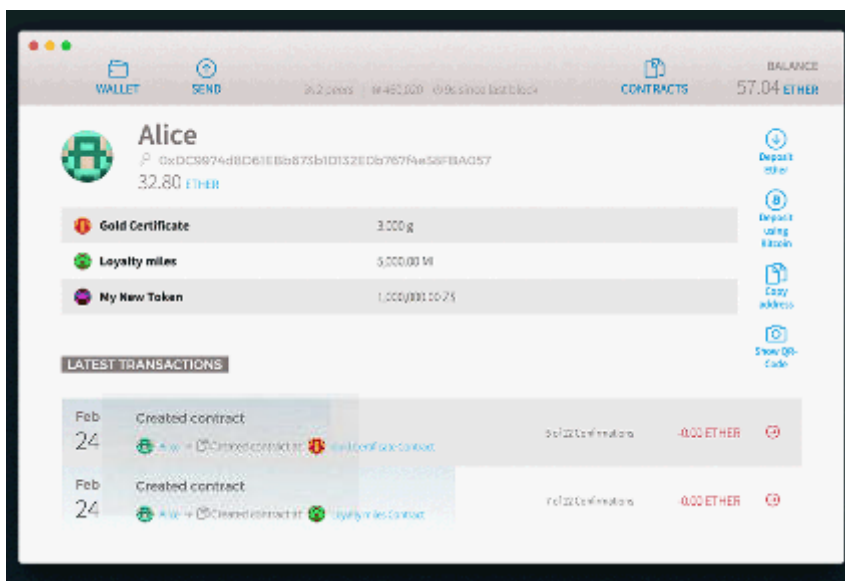
また、BMG プロジェクトにも採用されているソフトウェア「Exergy」は、ブロックチェーン技術のひとつ Ethereum（イーサリアム）を用いており、米国・ドイツ・オーストラリアでも導入事例がある。BMG プロジェクトは、Ethereum のブロックチェーン技術をマイクログリッドに応用して、中央管理者を必要とせず、太陽光発電設備と住宅・施設などからなる小規模な地域内をグリッドでつなぎ、効率よく電気を分配するシステムを実現している。

BMG プロジェクトのメリットとして、以下の点が挙げられている。

- ・ 遠方から送られる電気と比べ、地域内での送電は電気ロスの発生が格段に抑えられるため、費用効率に優れる。
- ・ 従来の電力網から分離して運用できるため、風水害や地震で大規模発電所からの送電が滞ってしまった場合にも、地域内の電力供給を維持することができる。

- これまでは大規模電力会社に支払っていた資金を、地域のコミュニティ内に循環させることで、地域全体の経済振興に繋がる。

ブロックチェーン技術を用いたプラットフォーム **Ethereum** は、コミュニティ内の発電量や取引を全て管理でき、参加する地域住民全員がアクセス可能である。**Ethereum** の採用により、参加者は不正なデータ書き換えの心配もないというセキュリティ上のメリットだけでなく、管理者がいらないため人件費もカットできるというメリットを享受することが可能となっている。



出所：Ethereum ホームページ

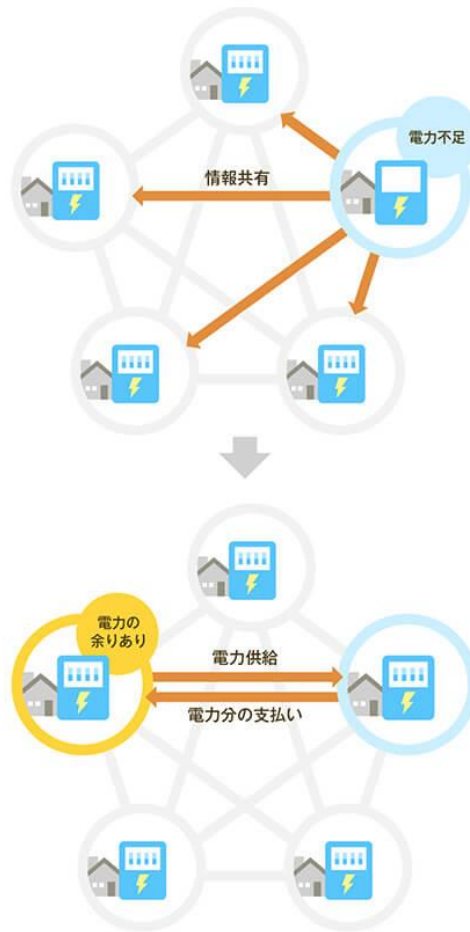
図 50 Ethereum の利用イメージ

BMG プロジェクトにおける送電までのフローは、以下のとおりとなっている。

BMG プロジェクトに参加している需要家のスマートメーターは、それぞれ発電機に接続されている。まず需要家側で発電が行われると、その量が **Ethereum** プラットフォームに書き込まれ、次に「エナジークレジット」と呼ばれるトークン（ネットワーク内でのみ使える仮想通貨）がメーターに付与される。このトークンは「発電された電力を使う権利証」として機能する。

次に、ある需要家の電力が不足すると、電力が不足した家庭のメーターがトークンを買収する。その結果として、電力を使う権利の購入により、電力が不足した家へ電力の送電が行われる。

Brooklyn Microgrid



出所：株式会社オロウェブサイト

図 51 BMG における送電フローのイメージ

2.3.2. Share & Charge

MotionWerk 社はドイツのスタートアップ企業であり、最初の商品となった **Share & Charge** プラットフォームは、Innogy Innovation Hub のプロジェクトのひとつでもある。**Share & Charge** の特徴は、ブロックチェーン技術のひとつである **Ethereum** (イーサリアム) を用いて、EV オーナーと充電器オーナーとの間で直接取引が可能となる、ピア・ツー・ピア方式 (P2P) での電気自動車充電を実現したことである。具体的には、EV オーナーにとっては、身近なエリアで多くの充電ポイントにアクセスできること、充電器オーナーにとっては、収益が得られ充電器の設置コストの回収を早められること、また小規模な電力会社や中小企業にとっては、手頃で信頼性の高い決済ソリューションを利用できることがメリットである。

2017 年、MotionWerk 社は、iOS ならび Android 向けのスマートフォンアプリとして、

Share & Charge アプリをリリースした。EV オーナーや充電器オーナーはアプリを通じて登録を行い、個人や法人オーナーが所有する約 1,500 台の充電ステーションが登録され利用可能となった。EV オーナーは、手間をかけて遠くまで充電ステーションを探しに行く必要がなく、自分のエリア内の充電ステーションを簡単に見つけて、安全に充電することが可能となった。また、充電器オーナーは、料金メニュー（定額、時間ベースまたは kWh ベース）を独自に設定することができたことも特徴であった。



出所：Share & Charge プロジェクトウェブサイト

図 52 Share & Charge アプリ

また、MotionWerk 社は、ブロックチェーンの実装がヨーロッパにおける充電ネットワークのローミング問題、すなわち国境を越えて充電ならびに決済が可能であることを証明するため、“Oslo2Rome Tour”を企画した。5 か国・7つのパートナーで結成された Oslo2Rome イニシアチブは、協力して近隣諸国との国境を越え、その途中で EV 充電と決済ネットワークの検証を行った。チームは、4 日間でオランダ・ドイツ・オーストリア・フランス・ノルウェーを EV で回り、ブロックチェーンの実装がヨーロッパの充電ネットワークのローミング問題を解決できることを証明することができた。



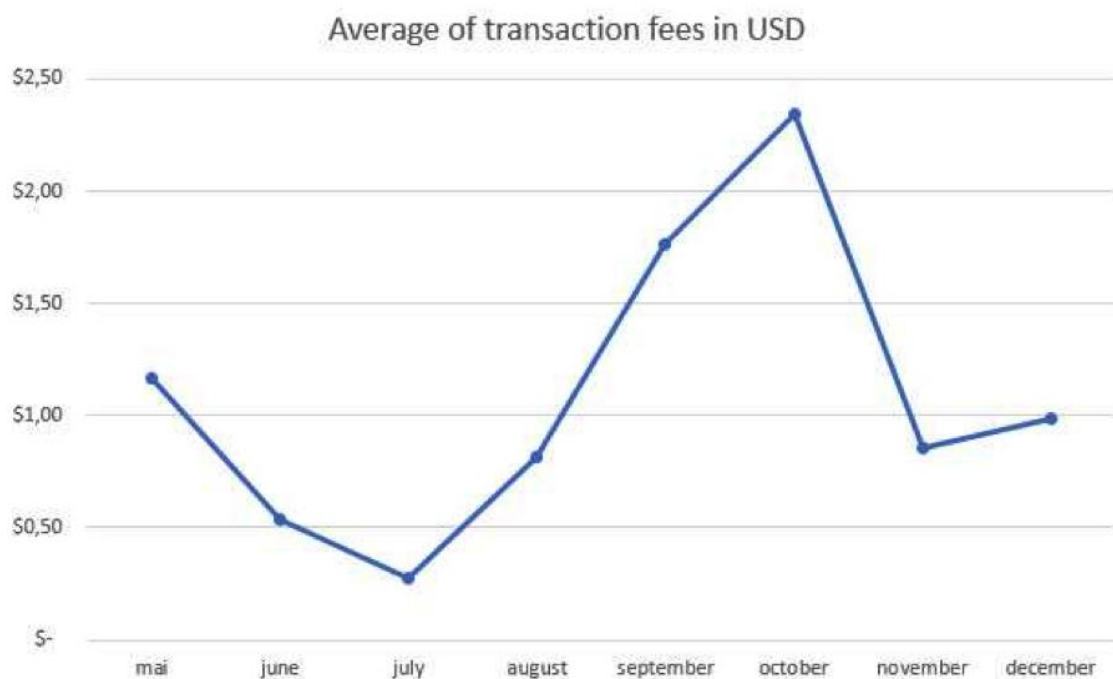
出所：Share & Charge プロジェクトウェブサイト

図 53 Oslo2Rome プロジェクト

しかし、このような試みによって、課題も浮かび上がってきた。それは、「取引手数料」の変動と、ネットワークの輻輳である。

Share & Charge が決済システムに用いているブロックチェーン技術の Ethereum は、取引を記録したり、口座間の移動をしたりするために膨大な計算を必要とするため、ビットコイン等と同様にマイニング（採掘）と呼ばれる計算力を提供して、対価として通貨を得る行為が必要となる。Ethereum の場合は、この計算力を「ガス (gas)」と呼ぶ。すなわち、マイニングを行う人数が多くなったり少なくなったりするのに応じて、ガス価格は上下することになる。一方、ブロックチェーン技術を用いた決済は、もともと前述のように即応性に劣るうえ、公共のネットワークを利用していたために予期せぬネットワークの輻輳が発生し、結果的に取引が成立する間の価格変動リスクや、価格変動によって取引が失敗することのリスクを、MotionWerk 社が負うこととなった。

このような課題もあり、2018 年 3 月 31 日を持って Share & Charge アプリは無効化されることとなっている。MotionWerk 社では、課題を解決したバージョンをリリースすべく、引き続き開発を続けることを表明している。



出所：Share & Charge プロジェクトウェブサイト

図 54 Share & Charge アプリ運営期間の月平均取引手数料推移

なお、MotionWerk 社は、アメリカで EV 充電器のネットワーク JuiceNet を展開する eMotorWerks 社をパートナーとして、Share & Charge アプリの実証をアメリカ・カリフォルニア州で実施した。このように、海外を含めた拡大展開についても引き続き進めていくとしている。

3. 総括

本調査では、AI・IoT・ブロックチェーンといった新たな革新的技術が、電力事業に与える影響を検討するため、各要素技術の概要と、国内外における先駆的な事例の調査を行った。これらの調査結果から、以下の示唆が得られた。

■ 革新的技術は、電力事業が中央集約型から市場型・分散型への移行を促進する手段となる

従来の電力事業は、専ら垂直統合型の電力会社が、自社エリア内の需要に応じて、自社保有の大規模発電設備により発電を行い、自社の送配電設備を經由して需要家に電力を供給してきた。

今後は、IoTの進展により、電力事業においてもこれまで以上に多くの点でデータを収集・分析し、きめ細かな電力制御が可能となる。また、ブロックチェーン技術の進展により、配電網内での需要家同士で電力売買を行うことができる環境が整いつつある。さらに、今後これらの技術を用いて多様化する電力需給や取引は、AIを用いることで最適化が可能となることが期待できる。

将来的な社会情勢を考慮すると、昨今の情勢から、今後爆発的に増加する可能性を秘めたEVやPHVの動向に、特に注目すべきである。EVやPHVは、車両としての役割だけではなく、車載蓄電池を活用した巨大な電力リソースと見なすことができる。1台あたりの蓄電容量は大きくはないものの、圧倒的に台数が多いと予測されることが特徴である。

また、太陽光発電や風力発電といった再生可能エネルギーについては、近年の発電コスト低減もあり、エネルギーリソースとしての有用性を日に日に増しつつあるといえる。これらの再生可能エネルギーについては、変動幅が大きくかつ予測が困難であることが課題と認識されている。また、電力容量としては大小さまざまであり、かつ設置場所も各地に点在していることが特徴である。

このような小規模・多数の電力リソースの活用には、AI・IoT・ブロックチェーン等の革新的技術が不可欠である。すなわち、より多くの点でデータ収集・機器制御を行い、需要家同士が直接取引することができる手法を備えながら、最適化により社会的コストを最小化することが期待できる。

以上の想定から、革新的技術の進展により、電力事業は従来の中央集約型から、現状の電力システム改革でも移行が進みつつある市場を介して電力の売買が行われる市場型、さらには地域的な特性に合わせて分散型の電力需給システムを採り入れるオプションを有することになるといえる。

■ 電力事業（特に配電分野）は、革新的技術を採用入れたイノベーションを進めるべき 欧米の大手エネルギー企業は、市場環境の変化に対応すべく、自社開発に留まらず、革

新的技術を所有するスタートアップ企業に対して積極的に投資あるいは買収を行い、ノウハウの吸収を進めている。

翻って我が国の状況を考えると、人口減少等による需要の頭打ちないしは減退が見込まれる一方、再生可能エネルギーの拡大により送配電網の維持・増強が求められることになる。このままでは電力事業全体、特に配電分野については、需要家の減少と小規模な太陽光発電等の設備への対策を求められるため、事業環境は厳しさを増す恐れがある。

以上の状況を想定すれば、我が国においても、電力事業への革新的技術の取り込みを急ぐ必要がある。とりわけ、欧米でもイノベーションが進みつつある配電分野に関しては、多くのスタートアップ企業が、様々な技術や製品・サービスの開発を競い合っている。これらのスタートアップ企業を含め、他社への投資や買収、あるいはアライアンス締結等の手法により、継続的な革新的技術の吸収と、自社事業へどのように適用できるかの検証を進めることが、電力事業全体の市場価値向上に繋がるだろう。また、需要側の事業として、小売分野を取り込んだ提携も、市場拡大の一手となり得る。

■ 革新的技術は、電力事業の課題解決に留まらず、海外輸出を含めた収益性拡大として展開すべき

電力事業にとっての革新的技術の採用は、一義的には、前述のような国内で直面する課題を解決する方策となる。しかし、それだけに留まらず、革新的技術を用いた新事業の開発、および新事業の展開による収益性拡大に繋げる手法ともなる。

欧米の大手エネルギー企業の動向をみると、事業環境に応じて自社事業を分割・吸収して強みとなるサービスを先鋭化し、それを以て海外で収益を得るパターンも多くみられる。我が国の電力事業においても、国内事業に留まることなく、得られたノウハウを活かして海外で収益を拡大する積極性が、今後の電力事業発展のために求められる。

以上

二次利用未承諾リスト

報告書の題名：平成29年度電力需給・系統等関連調査（AI・IoT等の技術革新が系統・発電・小売部門に与える影響と求められる新たなビジネスモデル等に関する調査）調査報告書

委託事業名：平成29年度電力需給・系統等関連調査（AI・IoT等の技術革新が系統・発電・小売部門に与える影響と求められる新たなビジネスモデル等に関する調査）

受注事業者名：株式会社日本総合研究所

頁	図表番号	タイトル
8	図7	AI技術の発展と社会への影響
15	図17	Industrie4.0の位置づけ
16	図18	従来の生産方式とIndustrie4.0が目指す将来像の違い
28	図30	E.ON社の投資先スタートアップ企業例
30	図31	Bidgelyの活用技術
30	図32	Bidgely社の様々なアプローチ方法
31	図33	Bidgelyの分析を活用したサービス検討イメージ
32	図34	AIを搭載したメーター
32	図35	インフォメティクス社による家電分離技術（AIHEMSの採用技術）
33	図36	電力取引価格予測システムの概要
33	図37	電力取引価格予測サービス内容
34	図38	オプティマイザーの事業内容
36	図40	AHSESの概要
37	図41	VPP構築実証事業全体イメージ
38	図42	デジタルグリッドのイメージ
39	図43	デジタルグリッドにおける電気の識別イメージ
40	図44	デジタルグリッドを用いた小売プラットフォーム事業
41	図45	スマートスピーカーの代表的製品（左：Amazon Echo、右：Google Home）
42	図46	大阪ガスのスマートスピーカーを活用したサービス提供例
42	図47	関西電力「はぴeみる電」サービス
43	図48	Nest Thermostat
44	図49	Brooklyn Microgridのウェブサイト
45	図50	Ethereumの利用イメージ
46	図51	BMGにおける送電フローのイメージ
47	図52	Share & Chargeアプリ
48	図53	Oslo2Rome プロジェクト
49	図54	Share & Chargeアプリ運営期間の月平均取引手数料推移