

2. 俯瞰対象分野の全体像

2.1 分野の範囲と構造

システム・情報科学技術は汎用的な基盤技術であり、さまざまな分野において、さまざまな効果を発揮し、多様な領域のイノベーションを加速する。エネルギーや交通などの社会インフラや行政、住民サービスといった社会システムを改善し、情報通信産業のみならず、製造業やサービス業、農業などの効率化・高付加価値化を実現する。さらに、ナノテクノロジーやライフサイエンスなどの他分野の科学技術の発展にも大きく貢献する。

さまざまな形で社会に幅広い影響を与えるシステム・情報科学技術分野の研究開発戦略を立案するにあたっては、基盤技術として世界に通用するものを生み出すことに加えて、社会価値として大きなインパクトを生み出す戦略シナリオが必要である。当分野では、単一の基盤技術だけで大きな社会価値を生み出すことは難しく、強い基盤技術の中核とした複数技術のインテグレーション、システムアーキテクチャーやビジネスモデルも含めた社会価値創出・社会適用に向けた研究開発が重要になる。

上述を踏まえ、当分野の俯瞰は、基盤レイヤーと戦略レイヤーという2層で捉えることにした。基盤レイヤーは、既に学問分野として確立された区分に基づき、基盤技術として世界に通用するものを生み出すための研究開発に着眼する。その上位層として設けた戦略レイヤーは、基盤レイヤーで生み出される強い基盤技術の中核として、社会価値として大きなインパクトを生み出す。

戦略レイヤーで狙う社会価値としてどのようなターゲットを設定するかは、わが国で目指すべき社会のビジョンに直結する。よって、第5期科学技術基本計画で掲げられている Society 5.0、超スマート社会のビジョン実現に向けて、技術や社会・経済のトレンドを的確に捉えた上で、当分野が果たすべき役割（ミッション）および、その役割を果たすために達成しなければならない具体的な目標を定めた。戦略レイヤーは、目標を達成するための研究開発領域である。

2.1.1 社会経済のトレンド

社会経済のトレンドを見ると、世界的には地球温暖化・気候変動、経済的な成長率の停滞や社会的格差の拡大、従来の民主主義への疑問、市場主義の限界、地域の不安定化、消費構造の変化などが挙げられる。さらに国連が採択した2030アジェンダには持続可能な開発アジェンダとして17のゴール（SDGs：Sustainable Development Goals）が盛り込まれている。これらは発展途上国だけの問題ではなく、広く地球的な課題としてとらえる必要がある。

日本のトレンドとしては、少子高齢化や経済成長の行き詰まり、社会インフラの老朽化、原発をはじめとするエネルギー問題、地震や台風などの自然災害の脅威、医療費などの社会保障費の増大の問題がある。

科学技術そのものにも重要なトレンドがある。人類の進歩のための科学技術が、一方ではサイバー攻撃や軍事利用にもつながっている。また、科学技術の進展が既存の雇用を減

少させることにつながったり、技術的格差が経済的格差に直結したり、あるいは倫理的、法的、社会的問題を引き起こすことになったりするという考えもある。

これらの動向に対して、システム・情報科学技術が適切な発展を遂げ、健全な社会を構築するためには、さまざまな観点からの検討が必要である。表 2-1 にはこれらのトレンドと、システム・情報科学技術との関連をまとめる。

社会・経済のトレンド	世界	システム・情報科学技術との関連
	世界経済成長は年 2-3%と低成長、需要拡大の妙手なし、中国経済変動の影響大	システム・情報科学技術への投資の減少
	民主主義の揺らぎ	システム・情報科学技術が本来持つオープン性や公平性への挑戦
	地球規模ないし一国内での格差問題の提起、SDGs ニーズの市場化、無くならない貧困、食料偏在化	格差・飢餓・貧困の低減への期待
	市場主義の揺らぎ、特に金融市場主義への反発	新たな市場原理の構築の期待
	中国・ロシア・イスラム世界など地政学リスク高水準、テロ増加	危機回避・リスク対策への期待
	温暖化、地球環境リスク、自然災害リスクの増加、都市化による問題増	予防、予知、減災への期待高まる
	IoT・AI・ビッグデータ等による産業構造、労働構造、人間行動の変化、意志決定システムの変化、教育への期待の変化	システム・情報科学技術の利活用の推進によるシステム・情報科学技術投資拡大、同時に依存度が高まる危惧
	先進国、新興国の消費・サービス構造の変化	サービス化はさらなる高度なシステム・情報科学技術を要請する
	日本	システム・情報科学技術との関連
	少子高齢化（役割担い手の減少）	ロボットやエージェント、知的処理などによる労働力の代替
	経済低成長と財政の行き詰り	システム・情報科学技術やロボット産業拡大および社会コスト削減への期待
	社会・インフラ老朽化	インフラ再構築、コスト削減への期待
	原発の位置づけとエネルギー問題	リスク検知・オペレーション最適化のためにシステム・情報科学技術活用
	自然災害の脅威	予防、予知、減災への期待高まる
	地方創生への期待	システム・情報科学技術による物理的制約の超越と地場産業興隆
	社会保障費の増大、介護・教育や安全・安心への期待	生涯健康管理システムの構築
	働き方の変革、一億総活躍	ワークシェア、AI/ ロボットとの共存社会、皆が働ける社会の実現

表 2-1 社会・経済の動向とシステム・情報科学技術との関連

2.1.2 システム・情報科学技術のトレンド

多様な領域に影響を与える IT は適用の過程においてそれ自身を継続的に進化させる技術である。本項では IT の進化を大きく次の三つの変化として捉えた。

第 1 の変化は、社会に浸透する人工知能とビッグデータである。コンピューターが小

型軽量高性能になることで、機器のスマート化とデータのデジタル化が進み、大量のデータの収集と解析が可能になった。ビッグデータと機械学習を組み合わせたサービスやアプリケーションも普及。一方で、既存の計算原理の性能限界が明らかになりビッグデータや人工知能用の新たな計算原理の必要性が高まる。



図 2-1 システム・情報科学技術のトレンド

第2の変化は、システム化、複雑化する世界である。情報通信の無線化・大容量化・グローバル化は、機器や人をクラウドにリアルタイムにつなぐことを可能にし、今や情報システム、制御システムを問わず世界中のあらゆるシステムは地球規模の複雑なシステムの一部となった。一方で、安全を脅かすセキュリティ脅威やシステム不全の連鎖的な波及への対応が不可欠になっている。

第3の変化は、ソフトウェア化、サービス化する世界である。仮想化の考え方がハードウェアの隠蔽・共有からソフトウェアやサービスのコンポーネント化、再利用に広がり、FinTechなどの新たなIT活用技術を実現した。また、人や資産をサービスコンポーネントとして共有するシェアリングエコノミーというサービス形態も出現した。システムにITを取り込んだ社会システムデザインやサービス科学が重要になる。

ITによる環境の変化は既にみたように社会のあらゆる場面で顕在化しているが、科学技術の開発と社会への導入の速度は極めて速く、社会が技術進歩に追従できない事例が生じている。そのようないわば影の面の変化については2.3のコラム「浸透するITとうまく付き合うためのELSI」を参照されたい。

2.1.3 ビジョンとミッション、目標、研究開発テーマ

システム・情報科学技術は、それ自体を指数関数的に進化させながら、経済、社会、環境、人間、文化、科学など多様な分野に影響を与える。インターネットにあらゆるモノが

つながり、さまざまなデータや情報をやり取りし、効率化や新たな付加価値の創造を行う。こうしてサイバーとリアルの社会の融合が進むにつれ、世の中のあらゆる場面にシステム・情報科学技術が深く関係するようになる。個人の生活から企業の活動、公共サービスなども大きな変革を遂げる可能性がある。その場合、個別最適が必ずしも全体最適にはつながらないし、科学技術だけではなく、法制度との連携も重要になる。したがって、我が国の現状を踏まえ、将来のビジョンを持った上でシステム・情報科学技術分野の研究開発の方向性を定め、新しい技術の社会適用の方策、社会変革の仕組み、社会経済的インパクトなどについても考慮が必要である。以下では、上記項目について考察を加える。

2.1.3.1 わが国のビジョン

平成 28 年 1 月に閣議決定された第 5 期科学技術基本計画において、目指すべき国の姿として、以下の 4 項目が挙げられている。

① 持続的な成長と地域社会の自律的な発展

経済成長と雇用の創出は、我が国の発展を支える根幹である。このため、高い生産性によって地域を含めた社会全体の活性化と国内の適切な雇用創出を図り、経済力の持続的向上を実現できる国となることを目指す。

② 国及び国民の安全・安心の確保と豊かで質の高い生活の実現

国民の生命及び財産を守り、人々の豊かさを実現していくことは国の使命である。このため、国及び国民の安全を確保し、国民の心が豊かで質の高い生活を保障できる国となることを目指す。

③ 地球規模課題への対応と世界の発展への貢献

我が国は、人類の進歩に絶えず貢献する国で在り続けなければならない。このため、我が国の科学技術イノベーション力を、地球規模課題への対応や途上国の生活の質の向上等に積極的に活用し、世界の持続的発展に主体的に貢献している国となることを目指す。

④ 知の資産の持続的創出

①から③の国の姿を実現するためには、我が国として、高度な科学技術イノベーション力を有することが前提となる。このため、多様で卓越した知を絶え間なく創出し、その成果を経済的、社会的・公共的価値として速やかに社会実装していく国となることを目指す。

2.1.3.2 システム・情報科学技術のミッション

前述の目指すべき国の姿を実現するためには、システム・情報科学技術だけではもちろん限界があるが、実現に向けてシステム・情報科学技術が果たすべきミッションを明確にし、それに向かった研究開発を実施していかなければならない。これを表したのが表 2-2 である。

持続的な成長と地域社会の自律的な発展を促すためには、何よりも経済活動の健全な発展

が重要である。一時的な対策や補助ではその場しのぎの解決にしかならず、「持続的」、「自律的」ということを実現するためには必ずビジネス的に成り立ち、継続的な改善が行われなければならない。そのためには健全な経済活動を促進する仕組みと、経済活動そのものの活発化に向けた生産性の向上、市場の拡大に向けた需要の喚起が重要である。

安全・安心で質の高い生活には、まず生活や経済活動などの基盤となる社会インフラの安定化が重要である。特に我が国においては道路や橋梁など、重要なインフラが老朽化し、国民生活の基盤を脅かしている。これらの強靱化とあわせて効率化や省エネルギー化を達成しなければならない。また、技術革新により、いわゆる「技術的失業」などの問題がクローズアップされたり、自動運転車の事故の問題が取り上げられていたりしている。人と機械の新たな関係、倫理的な問題への対応、それらを法制度として整備することが求められている。

気候変動などの地球的規模の課題に対しては、既に起きつつある課題への対応として自然災害や気候変動の観測、予知、予防に加えて、新たな問題を起こさないための、持続可能な社会システムの構築が必須である。

今後ますます加速する技術革新、多様化する人々の働き方、高まる人材の流動性などを考慮すると、人々が必要に応じていつでも学ぶことができ、新たな知を創造し、それらを使いこなすことが必要である。そうすることによって、科学技術のみならず、ビジネスや地域社会、個人の生活にいたるまでイノベーションを継続的に起こすことが可能になる。

これらのミッションを果たしていくことが、目指すべき国の姿を実現するためのシステム・情報科学技術の役割である。

ビジョン (目指すべき国の姿)	持続的な成長と地域 社会の自律的发展	国及び国民の安全・安心の確保 と豊かで質の高い生活の実現	地球規模課題 への対応と世界への 貢献	知の資産の持続 的創出
ミッション (システム・ 情報科学技 術の役割)	- 健全な経済活動の実現 - 労働生産性の向上と国内需要の喚起	- 社会インフラの強靱化、効率化・省エネルギー化 - 倫理問題への対応と新たな制度設計への対応	- 持続可能な社会システムの实现 - 自然災害、気候変動の観測、予知、予防	- 多様性・個性に対応した質の高い教育・学習 - 知の蓄積、流通、活用の加速

表 2-2 ビジョンとシステム・情報科学技術のミッション

2.1.3.3 システム・情報科学技術が具体的に達成すべき目標

目指すべき国の姿から、そこへ至るためにシステム・情報科学技術が果たすべき役割を定めた。次に、その役割を果たすために達成しなければならない具体的な目標を定めたものが表 2-3 である。また、後述するシステム・情報科学技術分野における戦略的研究領域

である戦略レイヤーにおける六つの研究開発区分における研究開発テーマと、上記の具体的な目標との関連もあわせて示した。これらの研究開発テーマは技術トレンドから見いだされたものでもあるし、上記のように目指すべき国の姿というビジョンの実現に向けた目標と強い関連を持つものでもある。

ミッション (システム・情報科学技術の役割)	目標 (システム・情報科学技術が具体的に達成すること)
- 健全な経済活動の実現 - 労働生産性の向上と国内需要の喚起	- サプライチェーンの高度化と顧客情報の利活用による新たな価値の創出を実現する産業基盤の実現 - 多様なニーズとシーズの適切なマッチングを実現するビジネス基盤システムの構築 - 透明性がありオープンなサービスプラットフォームの実現 - 社会のスマート化による効率化、省エネルギー化
- 社会インフラの強靱化、効率化・省エネルギー化 - 倫理問題への対処と新たな制度設計への対応	- データに基づく危険予兆察知技術の研究開発 - セキュアでレジリエントな情報システムの構築 - 人間行動の理解と適切な介入の仕方、労働のモジュール化と参加を促進するプラットフォームの構築
- 持続可能な社会システムの実現 - 自然災害、気候変動の観測、予知、予防	- 大規模・高精度環境センシングシステムの実現 - センシング情報の統合的理解、学習とシミュレーションの統合
- 多様性・個性に対応した質の高い教育・学習 - 知の蓄積、流通、活用の加速	- 多様性・個性に対応した質の高い教育・再教育・学習の提供 - 知識/情報/データベース化と統合利活用

表 2-3 システム・情報科学技術の役割と具体的に達成すべき目標との関連

2.1.4 分野の俯瞰と戦略的研究開発領域

戦略レイヤーにおける六つの俯瞰区分について述べる。

(1) 知のコンピューティング

知のコンピューティングとは、知の創造を促進し科学的発見やその社会適用を加速するなど「知の活用の変革」を推進することである。知のコンピューティングにより、人々のくらしや社会システムの質的変革が促され、人と機械が共創した、より高度な知的社会が実現される。

第5期科学技術基本計画においては、特に、知の基盤強化の全般に資する研究領域である。ビジョン、ミッション、目標との具体的な関わりについては、例えば、目標「多様なニーズとシーズの適切なマッチングを実現するビジネス基盤システムの構築」において、ニーズとシーズのマッチングシステムを実現する際にキーとなる、合意形成、メカニズムデザインの技術を提供する。また、目標「人間行動の理解と適切な介入の仕方、労働のモジュール化と参加を促進するプラットフォームの構築」においては、ITの社会受容に関する研究と新たな制度設計の考え方を、さらに、目標「知識/情報/データベース

ス化と統合利活用」においては、まさに集積した知、生み出された価値等を社会に還元・共有・普及・促進を加速しやすくするための知のエコシステム・プラットフォームの構築を可能にする。

知のコンピューティング特有の「知」の定式化に関しては、新しい研究領域であり、現時点ではわが国の国際的な競争力を判断することは不可能であるが、基盤となる研究領域においては、例えば、大規模データ処理解析基盤、言語の深い意味理解、映像による意図理解、仮説生成と発見科学、合意形成とメカニズムデザイン、脳情報システム、ヒューマンロボットインタラクション、ネットワークロボットなど日本の強みといえるものも多い。

以上を鑑みてわが国が取り組むべき重要な研究テーマは、集団の意思決定と行動変容を促進するための合意形成・メカニズムデザインの研究、人間同士や人間と機械の相互作用に関わるインタラクションの研究、それらのためのプラットフォームとして、蓄積・発見された「知」の共有・相互利用のメカニズムの構築に向けた研究、さらに、それらの恩恵を人々が容易に受け入れると同時に負のインパクトを最小にするための ELSI（倫理的、法的、社会的課題）と社会受容の研究が挙げられる。

(2) CPS/IoT/REALITY 2.0

CPS/IoT/REALITY 2.0 は、社会にあるモノ、ヒト、コトを、サイバー空間を通じて利用可能とし、それらを組み合わせることで、新たなサービスや社会システムの構築を可能とする研究領域である。これにより新たなビジネス創出や持続可能な社会の構築に貢献する。

現在、CPS（サイバーフィジカルシステム、Cyber Physical Systems）、IoT（モノのインターネット）の高度化と社会への普及が急速に進められ、その適用領域は単一機器にとどまらず鉄道や航空、電力、工場、サービスまで広がり産業や社会システムに大きな変革をもたらしつつある。この動きが進むことでサイバー空間と物理世界が一体となった世界、REALITY 2.0 が生まれると考えられる。

REALITY 2.0 では、CPS/IoT が対象としていた ICT によるモノやビジネスのサービス化から、ヒトやコトといった社会全体をサービスとして利用・提供可能となる世界が実現される。また、サプライチェーンの高度化や、顧客情報の利活用による新たな価値の創出、透明性がありオープンなサービスプラットフォームの構築、労働のモジュール化と参加を促進するプラットフォームの構築等が可能となる。

この実現のためには、モノ、ヒト、コトなど社会全体をサービスとして利用・提供可能とするサービス化技術としてモノ、ヒト、コトの API 化や管理設計技術、サービスの仲介技術が重要となる。また、サービス化されたモノ、ヒト、コトにより社会システムを構築するためのサービスプラットフォーム構築技術として、ユーザーの需要動向把握、サービスのオーケストレーションや認証認可技術が重要となる。

(3) 社会システムデザイン

複雑化する社会システムの安定的な挙動のための設計、構成、監視、運用、制御、可視化、模擬および適切な制度設計により社会インフラの安寧化の実現を目指すものである。社会システムの大規模化・複合化・複雑化が高度に進展する中、システムに IT を取り込んだ社会システムデザインの必要性が増してきていることから独立した俯瞰区分とした。

ビジョン、ミッション、目標との関わりにおいて、社会システムデザインとして特に重要な研究開発テーマを含む研究開発領域は、「社会インフラオペレーション」および「制度設計」である。目標「社会のスマート化による効率化、省エネルギー化」を実現するためには、社会インフラの安全・安心で継続可能なオペレーションに関する技術が必要である。また、目標「人間行動の理解と適切な介入の仕方、労働のモジュール化と参加を促進するプラットフォームの構築」および「多様性・個性に対応した質の高い教育・再教育・学習の提供」の実現のためには、公平性・効率性・合理性・秩序・社会受容性・ELSI の考慮・社会実装時の負の影響考慮が求められるルールやプロセスのデザインが必要となる。

今後、「社会システムデザイン」について、重要な研究開発テーマ、制度上の課題を明らかにするために、過去の社会実装の実施例を評価する具体的なケーススタディーを行う予定である。その結果を取りまとめ、別途報告する予定である。

(4) ビッグデータ

ビッグデータの研究開発で目指すのは、膨大なデータの収集・解析、実世界現象の精緻でリアルタイムな把握・予測により、さまざまな社会課題を解決し、安全・安心で生産性の高い社会を実現することである。ビッグデータから危険・変動等の予兆を察知したり、エネルギー・商品等の需要を予測したり、状況や嗜好に適応した最適なアクションプランを生成することが可能になり、人間の手には負えなくなりつつある大規模・複雑な社会課題の解決、そして、前述のミッション・目標の達成に貢献する。

北米の巨大 IT 企業が勢いを持っている分野であるが、日本としては、実社会・実世界の課題解決（ソリューション）にフォーカスした技術開発が重要である。そのために、ターゲットとする社会課題領域で迅速かつシャープに性能を出す人工知能技術（機械学習、画像・映像解析、自然言語処理等）をいっそう強化すべきである。

また、実社会・実世界に大規模分散するビッグデータを低消費電力で高速・高効率に扱える計算基盤も重要である。既存路線の単純延長には限界があり、新計算原理を見据えた取り組みを期待する。

(5) ロボティクス

ロボティクスは、高い自律性を持つ機械や機械と人間の緊密な相互作用を実現することで、安全・安心で質の高い生活をもたらす新たな社会システムの形成に貢献する研究開発領域からなる俯瞰区分である。IT との融合により、ロボットの自律化による適用

領域の拡大、ネットワーク化やシステム化による多様なサービスへの組み込みが進みつつあり、今回戦略レイヤーにおいて取り上げることとした。

ロボティクスは、物理世界とのインタラクションに不可欠であり、社会のスマート化による効率化、省エネルギー化、人間行動の理解と適切な介入、人間とロボットの協働を前提に労働のモジュール化と参加を促進するプラットフォームの構築といった前述の目標達成に貢献する。

近年、製造業の国内生産回帰、労働生産性の向上、ロボット活用領域の拡大を狙って、各国とも次の時代に求められるロボティクスの研究開発を強化している。具体的には、米国政府の Robotics Initiative における人と協働するロボットへの注目、Google、Amazon をはじめとする巨大 IT 企業やスタートアップなどの動きである。欧州においては欧州委員会の AAL（Ambient Assisted Living）、SPARC と呼ばれる官民連携などの取り組みがある。また、各国がしのぎを削って開発を進めている自動運転車もロボティクスの技術の結晶である。ロボットの本質は、センサーとアクチュエーターを知的に結合することであり、状況変化に応じて物理的な効果をもたらす全ての応用に適用可能なので、IoT による住環境制御などを含め、ロボットとは見えない場面におけるロボティクスの活用の拡大が見込まれる。

わが国は、重工業や電子製品製造など向けの産業用ロボットの開発・利用や複雑な制約下における動作実現のベンチマークとなるヒューマノイドの研究開発などをけん引してきた。製造業向けロボットの利用領域拡大や人とのかかわる利用領域での安全性向上に資するソフトロボティクス、IoT 社会においてロボティクスの物理的機能と連携した多様なサービスを実現するためのシステム化技術が特に重要である。

（6）セキュリティ

セキュリティは、さまざまな機器や装置、システム、データや情報などを利活用するための技術から構成される。現代社会は、ICT システムに深く依存するようになってきており、ICT システムの安全性の確保は非常に重要な課題になってきている。このような問題を解決するために必要となるのが、セキュリティである。

特にデータに基づく危険予兆察知技術の研究開発、セキュアでレジリエントな情報システムの構築を通じて、セキュリティ技術が社会インフラの強靱化に貢献し、国および国民の安全・安心の確保につながることを期待される。

今後重要となる研究開発テーマとしては、実データ、実システムに基づくセキュリティ対策技術の国産化とともに、近年その広がりを見せる IoT に対応したセキュリティ技術の研究開発が挙げられる。

2.1.5 分野の構造と研究開発領域

システム・情報科学技術分野の構造を図 2-3 に示す。

本書では、戦略レイヤーに関して研究開発領域を報告する。なお、社会システムデザイ



図 2-3 システム・情報科学技術分野の構造



図 2-4 戦略レイヤーの研究開発領域

ンについては2章のみの報告とし、今後も継続する俯瞰活動において、詳細が明らかになった時点で別途報告する。戦略レイヤーの研究開発領域を図 2-4 に示す。

基盤レイヤーは、システム・情報基礎理論から、デバイス・ハードウェア、ソフトウェア、複雑系科学、IT メディアとデータ管理、IT アーキテクチャー、モデリング・制御・最適化、人工知能、ビジョン・言語処理、インタラクション、システムズエンジニアリングを俯瞰区分として整理した。基盤レイヤーの研究開発領域を図 2-5 に示す。

なお、基盤レイヤーにある俯瞰区分の技術は原則として排他網羅的な包含関係にある。一方、戦略レイヤーにある俯瞰区分の技術は、他の俯瞰区分と相互に関連しあうことがわかっており、厳密な分類は行わないことにした。



図 2-5 基盤レイヤーの研究開発領域

2.1.6 分野の融合と研究開発領域

今回の俯瞰報告書では、2015 年版まで独立していたシステム科学技術と情報科学技術を高いレベルで融合するために、各要素となる研究開発領域を図 2-6 に示すように統合した。

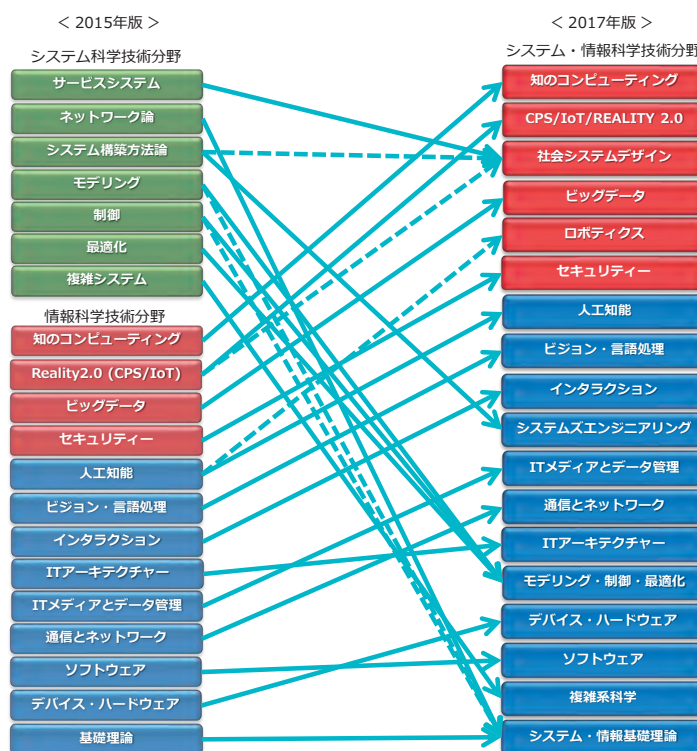


図 2-6 システム科学技術分野と情報科学技術分野の融合

2.2 分野における研究開発の歴史・変遷

システム・情報科学技術分野の歴史・変遷はシステム科学技術および情報科学技術それぞれの発展とそれらの統合に向けた動きと大きく捉えることができる。以下ではシステム科学技術と情報科学技術の歴史を個々に振り返った後、現在それぞれが融合し発展してきた姿を概観する。

2.2.1 システム科学技術の歴史

システム科学技術における実用的側面（システム技術）に最初に注目したのは、カール・マルクスといわれている。マルクスは、当時盛んであった紡績・織布工場の紡績機械が、主として道具機と原動機、およびその両者を結ぶ伝達機の三つの要素からなることを観察し、機械はそうした要素が適切に組み合わせられたシステムとして進化することを予言した。産業革命から始まっていたそのようなプロダクトのシステム化は、フォード社の流れ作業方式による自動車の生産に代表されるような工場、プロセスのシステム化にも波及した。その後自動車製造各社は、自動車部品（要素）の多様な結びつきを可能とするモジュール化と規格化を押し進め、複雑化する自動車（システム）を効率よく生産することに成功した。複雑さに対抗するための新たなシステム化がこのとき始まったのである。モジュール化や規格化、またシステムの各要素を秩序付けて複雑なシステム全体を取り扱うことを容易にする階層化は、近代的な生産方式を最も基本的なところで規定する現代技術の象徴である。

研究開発、設計、製造、販売等のあらゆるフェーズで多様な形で使われるシステム技術の発展は、やがてその体系的科学的な基盤を必要とするようになる。それに応えて 1930 年代から第 2 次世界大戦直後にかけて生み出されたのが、モデル化、ネットワーク、制御、最適化、計算アルゴリズム等の、主として人工物を対象とする一連の科学である。これらの科学の成立を「第三の科学革命」と呼ぶ人もいる。

第三の科学革命の成熟は、サイバネティックス、情報通信理論、一般システム理論等のシステム科学および情報科学技術の基礎となる理論を生み出した。このような成果例を表 2-4 に記した。なお、「システム科学」という言葉が学術の世界で最初に使われたのがいつであるかは不明であるが、1945 年にルートヴィヒ・フォン・ベルタランフィが「一般システム理論に向けて」（Zu einer allgemeinen Systemlehre）と題する論文を発表しており、その前後にはシステム科学という言葉がすでに使われていたと思われる。

表 2-4 第三の科学革命の成果例

1931	ブッシュの微分解析器
1931	ブリュンによる回路理論の数学化
1932	ヘイゼンのサーボ機構の理論
1936	チューリングの機械計算の一般モデル
1940	オペレーションズ・リサーチの開始
1944	フォン・ノイマンのゲーム理論
1945	ベルタランフィの一般システム理論
1945	ボードのフィードバックの理論
1946	最初の汎用デジタル計算機 ENIAC
1948	ウィーナーのサイバネティックス
1948	シャノンの情報通信理論
1949	最初のプログラム内蔵式計算機 EDVAC

これらを受けて、1950 年代後半からシステム科学はいっそう発展する。1960 年前後に自己組織システムに関する国際会議が幾度か開催されている。1965 年には、米国電気電子学会（IEEE: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.）において、“Systems Science and Cybernetics” の Transaction が創刊され、1969 年には、ロンドンのインペリアル・カレッジで国際サイバネティックス会議が開催されている。計算機技術の発展とともに、科学の細分化や行き過ぎた還元主義に対する批判を軸としたサイバネティックスやシステム論の主張は、一部の科学者の注目を集めるようになった。そのきっかけになったのは、スイスに本部を置く民間のシンクタンクであるローマクラブが 1972 年に出版した「成長の限界」である。世界全体を動的なシステムにとらえ、その状態変動のメカニズムを記述するモデルにもとづいて将来予測を行ったもので、その悲観的な予測結果とともに世界を思い切って簡略化した定量モデルで記述するシステムダイナミクスの方法論の斬新さは学問的にも大きな注目を集めた。同じ年にオーストリアに米国とソ連の共同イニシアティブのもとに文明社会が直面する課題を研究するために国際応用システム分析研究所（IIASA : International Institute for Applied Systems Analysis）が設立された。東西冷戦のさなか、両陣営の研究者が政治的対立を超えて共同研究を行う研究所ができたことは、緊張緩和にも貢献があったと思われる。

その後、システム科学研究の中心に躍り出たのが「複雑適応系」という新しい領域を中心的な研究対象とした米国のサンタフェ研究所である。サンタフェ研究所は、「複雑なシステムを理解するための基本原理の発見」をミッションとして、1984 年に設立された。複雑適応系の特徴としては、システムを構成する各要素の変化がわかっても、システムとしての動きは予測困難であること、各要素が変化する能力と経験から学習する能力をもち、自らを自己組織化して環境に適応しようとする、などがある。具体的には、組織・集団、経済、証券取引、生態系、脳、免疫、細胞等が挙げられる。21 世紀の科学として着目されている複雑系（複雑適応系等も含む）に関する研究は、新しいシステム科学の必要性を明らかにし、数学、物理、生物、化学、経済等のさまざまな分野に大きな影響を与えている。現代のシステム科学はこの流れの中にあるとよく、フラクタル、ニューラルネットワーク、カオス理論、複雑系経済学等の幅広い分野において成果を上げている。

わが国は、第二次世界大戦後の高度経済成長時代において、第三の科学革命の巨大な成果を取り入れ、一時は工業国として世界を代表するシステム力を有していた。例えば、1964 年に開業した東海道新幹線は、オペレーションズ・リサーチやサイバネティックス等のシステム科学の積極的な導入のもと、先進的なシステム技術が実装され、インフラも車両も電動機もほとんどすべてが国産で、敗戦後の日本復活を物語る誇るべき成果であった。また、日本電信電話公社（当時）が 1970 年代から 1980 年代にかけて開発したメインフレームコンピュータ DIPS（Dendenkosha Information Processing System）では、開発を請け負った日立製作所が「ソフトウェア工場」という世界でも初めての試みを実現し、属人的な作業と思われていたソフトウェアの生産を規格化とモジュール化を通してハードウェアと同じような手順で行う方法を定着させた。そのほか、製鉄所や自動車の生産管理、エンジンの電子制御技術、産業用ロボット等において、1990 年代初頭までは、わが国におけるシステム力は健在であった。しかしそれ以降、次第にその存在感は薄れ、要素技術に比べてシステム科学技術の蓄積・進化が産学ともに弱まってしまっている状

況にある。

2.2.2 情報科学技術の歴史

商用コンピューターは、1960 年代のメインフレームと呼ばれる大型計算機に始まり、1970 年代にはミニコンが実用化され、1980 年代にはマイクロプロセッサの進展によりワークステーションが登場し、1990 年代にはパーソナルコンピューターが普及した。この進歩は半導体集積回路技術の発展によるところが大きい。この結果、コンピューターとネットワークはコスト、性能面で格段の進歩を遂げ、広く社会に浸透している。

ネットワークは、ARPANET の研究に端を発するインターネットが 1990 年代の WWW (World Wide Web) により爆発的な広がりを見せた。その背景の一つとして、光通信技術などの進展により高速大容量通信が可能となったことがある。また、無線通信技術により、携帯電話や高速無線 LAN などの普及から、すべての機器がネットワークにつながる時代となってきた。通信速度の飛躍的な向上が、電子メールから動画コンテンツへと変遷を下支えし、放送と通信の融合が始まっている。

このような IT 要素技術の進化は、IT を使う仕組み (IT アーキテクチャー) の変化を促し、それにより新たな IT のアプリケーションが生まれ、社会的役割が拡大する。役割の拡大が、要素技術やアーキテクチャーの重要性を増大させ、それが次の進化に向けた技術革新を加速する。

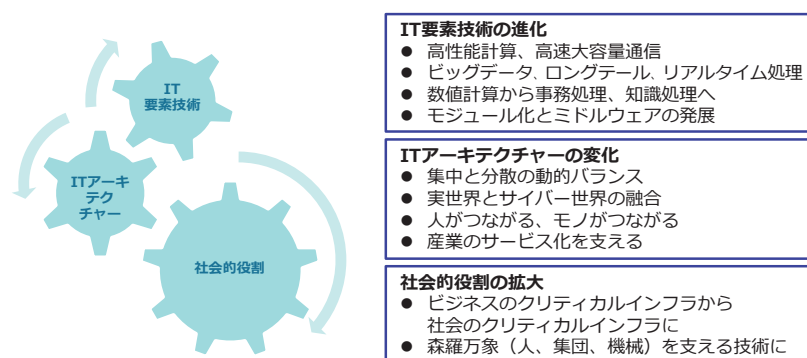


図 2-7 IT の社会的役割の変化

このような視点から、社会やビジネスとの観点で、ここ 10 年の大きな流れを概観する。まず、ビジネスのグローバル化が進み、迅速かつ柔軟な対応が必要となっている。また、ハードウェアの低価格化やインターネットの普及に伴い、サービスをいかに統合化するかが重要となっている。また、これまでの一企業の中で閉じたサービスであったものと、社会的なサービスとして一般大衆を対象として開かれたサービスでは、根本的な違いがある。社会的なサービスにおいては、開かれた系におけるサービスレベルの担保、アカウントビリティ、社会的責任を持つことが大きな課題となる。さらに、ストレージやプロセッサ、ネットワークなどさまざまなリソースがサービスに接続されるようになっており、それらは多様性を持ちつつさまざまなところに分散しておかれている。

こうしたことを背景として、2000 年代初期に、コンポーネント化と標準化、インテグレー

ションのための SLA（Service Level Agreement）保証といった技術開発が盛んに行われるようになった。その一つが、企業のビジネスプロセスを標準化し、コンポーネント化し、それを組み合わせるというサービス指向アーキテクチャー（SOA：Service Oriented Architecture）である。

2000 年代後期になると、こうした技術を基盤として Web2.0、SNS（Social Networking Service）、グリッド、クラウドコンピューティングなどが進展し、世界の知恵を集める協調インフラが構築され、グローバルインフラとして広く世界に影響を与えるようになってきた。例えば、SNS や Wikipedia に代表されるような、ソーシャルコンピューティングと呼ばれる、人々が参加する形でのネットワーク上のコミュニケーション活動が非常に活発になっている。ユーザーの役割が利用者であり、かつ、提供者であるというプロシューマーの形へ大きく変化している。さらに、2011 年の東日本大震災時の迅速な情報共有など新たなメディアとしての役割を生み出した。情報サービスに着目すると、インターネットやクラウドコンピューティングの登場により、サービスデリバリーの形態が一変してきている。つまり、IT 基盤やビジネスプロセスに基づいたソフトウェアやアプリケーションを所有することから、標準化されたプラットフォーム上に準備されているソフトウェアやアプリケーションを使用する形態へと移っている。これにより、所有することによる技術の陳腐化やセキュリティの脆弱さから解放されるだけでなく、標準化との組み合わせによるビジネスプロセスの変化への柔軟な対応、品質の担保、コストの低減など多くのメリットがもたらされる。

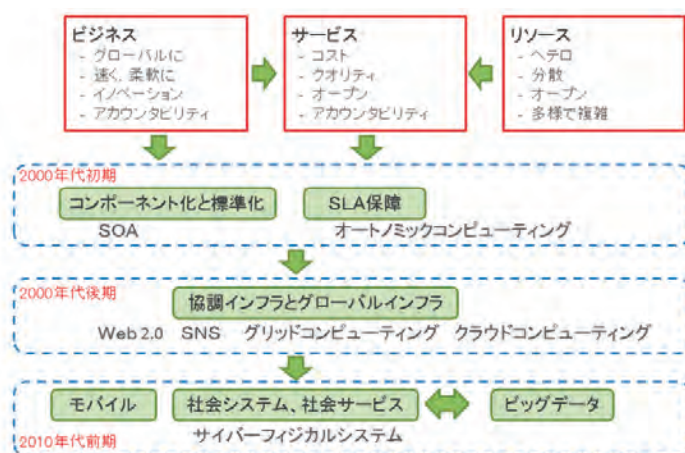


図 2-8 社会・ビジネスの要請と IT の変遷

クラウドコンピューティングは、サービスデリバリーの形だけでなく、社会におけるコミュニティのあり方、協業の仕組み、企業活動形態にも影響を与えている。グリッドコンピューティングが提唱した仮想組織（Virtual Organization）を実現化するインフラとあって良いだろう。

さらに、近年、仮想化、コンポーネント化などの考え方が、企業の機能だけでなく社会の機能として位置づけられるようになってきた。サイバーフィジカルシステム、スマートシティーなどの言葉で表現される社会システム・社会サービスへの期待である。例えば、

カーナビや携帯電話による位置情報サービスは、ユーザーの所有する端末や、その場所での状況を判断したサービス、いわゆるコンテキストウェアサービスとして広まる状況にあり、ITS（Intelligent Transport Systems）などとも連携し、スマートコミュニティでの展開が期待されている。

このように、情報科学技術分野の技術開発や研究の対象は、半導体、ソフトウェア、通信ネットワークから、人間の行動様式、社会性、倫理性などにもとづく社会活動そのもののデザインにまで広がりつつある。

2.2.3 システム科学技術と情報科学技術の融合

1960 年代に入り、プラントのバルブがコンピューターを通した直接デジタル制御により動かされるようになったほか、自動車などアクチュエーターを備えたさまざまな機械システムが電子化、デジタル化され、IT の進化と共に発展してきた。

2000 年代に入ると、実世界から得られる膨大な情報をサイバー空間の強力なコンピューティング機能により処理し、その結果を実空間へ反映させることで、より高度で効率的な社会を実現するためのシステムとしてのサイバーフィジカルシステム（CPS）や、IT、システム科学、経営工学、社会工学等の様々な学術分野を融合させ、あらゆる産業における価値を企業等のサービス提供者と利用者が共創していく知識体系であるサービス科学の概念が提案され、それらは急速に社会に浸透してきている。こうしたことを振り返ると、この約半世紀はシステムと IT の共進化の歴史といえる。

近年では、このような共進化を遂げて大規模複雑化したシステムをエネルギー・電力、交通、金融、農業、医療といった現代社会のあらゆるドメインで見ることができる。スマートグリッドや ITS は、その最前線における代表例である。これらのシステムは家庭電化製品や自動車のように独立して機能するシステムを含んでいることから SoS（System of Systems）とも呼ばれる。また、この種のシステムは設計、評価、運用において人間という不確かな要素を含み、物理的法則のみに支配されない社会技術システムとなっていることが多い。このようななかで、システム科学技術と情報科学技術の高いレベルでの融合が不可欠になってきている。

現在進められている第 5 期科学技術基本計画における超スマート社会（Society 5.0）や米国の Smart Cities Initiative の下での Smart and Connected Communities などは、社会課題の解決に向けた様々な研究開発と密接に関係しているだけでなく、社会技術システムの変革の方向性を左右する可能性を有している。したがって、そこでの研究開発では技術的側面だけでなく人文・社会学者を巻き込んだ基礎から社会適用研究に至る幅広い取り組みを行っていくことが求められる。

2.3 分野の研究開発を取り巻く現状

システム・情報科学技術は汎用的な基盤技術であり、情報通信市場だけではなく、その他の製造業などの第2次産業に広く影響を与え、農業などの第1次産業、金融業などの第3次産業、公共サービスにも広く適用される。また、産業分野にとどまらず、学術や芸術にも大きな影響力を発揮している。このように幅広い分野との相互関連を持つため、システム・情報科学技術を俯瞰する上では、従来の狭い意味での学術領域や実用化の技術開発だけを見ても、全体像を把握することはできない。

以下では、いかに社会全体に大きな影響を与えるかという観点からシステム・情報科学技術のトレンドを分析する。さらに、その研究開発を支えるコミュニティの動向を述べるが、そこでも通常の学術界だけではなく、社会適用・実践の重要性から広く産業界にコミュニティが広がっていることを示す。海外においてもこれらの激しい動きがあり、わが国を含め各国における政策、企業の動向などについても考察を加える。

2.3.1 研究開発・研究コミュニティの動向

システム・情報科学技術分野に関する研究開発動向および研究コミュニティの動向について記述する。

2.3.1.1 システム・情報科学技術のトレンド

既に見てきたように、経済、社会・環境、人間・文化の多様な分野に影響を与える IT は、その適用の過程において継続的に進化してきた。本項では、その進化の方向性を大きく三つの流れとして捉える。

(1) 社会に浸透する IoT、AI、Big Data

コンピューターが小型軽量高性能になることで、機器のスマート化とデータのデジタル化が進み、大量のデータの収集と解析が可能になった。ビッグデータと機械学習を組み合わせたサービスやアプリケーションも普及してきた。IoT の普及により世の中は大きく変わる。その意味で IoT はパラダイムであると言える。

スマートデバイスは、インターネットに接続された他のスマートデバイスとやり取りしながら、ビッグデータ処理を効率良く加速するエッジコンピューティングデバイス（あるいはエッジコンピューティングサーバーへの入出力デバイス）としての役割を担い、森羅万象に関する認識をリアルタイムに深めていく。また、スマートデバイスは、スマート社会センサー・カメラとともに、単純な閾値（境界値）監視では予測・発見できないような、社会システムの状態変化の兆候を夜間・悪天候でも検出し警報を発する役目も担いながら、世界のデジタル化を加速させている。

自動車に搭載されたスマートデバイスは自動車そのものと一体化し、周りの自動車だけでなく環境に組み込まれたスマートデバイスとのやり取りを賢く行いながら、リアルタイ

ムに状況を把握して目的地に速やかに移動するとともに事故を未然に回避する。実世界を見守るスマートカメラやセンサーは、森羅万象がわれわれに垣間見せる表情の微妙な変化（状態変化の兆候）を、従来の閾値監視ではなく、機械学習により精細に推定し把握する。街中に張りめぐらされたスマート監視カメラは、リアルタイムで撮影映像を分析し、群衆の正常な行動パターンを日々学習するとともに、群衆の中に紛れ込んだ「普通から逸脱した動きをするもの」を検出して警告を発する。そして、スマート構造物センサーは、構造物内部の劣化状態を推定して、構造物内部に潜む危険を察知し警告を発する。このようなネットワーク化されたスマートデバイス・センサー・カメラ群（IoT デバイス、赤外線などのアクティブセンサー、画像カメラとしての「デジタルサイネージ」等）は、さまざまな場所から人や物や自然を見守るとともに、その動きや変化を絶えず監視しながら、森羅万象に関する情報をクラウド上に集積していく。その際、スマートデバイス（または、スマートデバイスの近くのエッジコンピューティングサーバー）中でローカルに処理できるものは、組み込み AI を使ったエッジコンピューティングにより瞬時に高速処理され、スマートデバイスへ情報が送られる。また、より難しく複合的な問題はクラウドに上げられて、クラウド AI あるいは集合知の力により知的情報処理がなされ、森羅万象に関する認識や理解が深められる。

デジタル化は、森羅万象に関する認識データベースの構築を加速し、人々が、スマートデバイスを使って、いつでも、どこからでも、他人・コンテンツ・アプリケーションと対話できるような、デジタル・エクスペリエンスが実感できる社会環境が整備されていく。商品開発者は、デジタル情報を使って、機械学習により、世の中のコト（事柄）とモノ（商品）をマッチングさせながら、ヒットする商品を予想する。IoT の普及で爆発的に増加するデジタルデータが知的情報処理され、データの中に隠されているさまざまな情報（データ同士の相関関係や因果関係）が導き出され、予測・推論に使われる。Web ビジネスにおけるリスク回避に関しては、AI を使った不適切コンテンツの自動判定が行われている。ブログ、電子掲示板、SNS、動画投稿サイト、イラスト投稿サイト等のユーザーによって制作・生成された User Generated Contents (UGC) をコンテンツとするメディアの運営者は、コンテンツ連動型のオンライン広告で収益を得ている。このため、アップロードされるテキスト・画像に対して、AI を使って掲載ポリシーに反した不適切コンテンツの自動判定を迅速かつ高精度に実行することで、広告主のブランドを保護しながら、広告掲載停止のリスクを回避している。

FinTech (Finance × Technology) では、ロボットアドバイザーが相場に合わせて銘柄を選別しながら、リスク許容度や運用期間に応じて最適な分散投資を自動提案（インテリジェントアクティブ運用）するような業務環境の整備が進んでいる。さらには、人と機械の混成チームがチェスでは最強であるように、勘と経験と根性に頼る人間だけによる業務や全自動化されたスマートデバイスのみによる業務よりも、優秀な人間と高性能なスマートデバイスや人工知能を組み合わせた業務の生産性が高いと期待される。社会は人とスマートデバイスとの協働作業が加速する方向に変化しつつあると言える。その代表例は、米国 IBM が研究開発中のコグニティブ・システム IBM Watson である。同社はコグニティブ・サービスの世界展開を目指し、現在、中核アーキテクチャーの多言語化を戦略的に進めるとともに、質問応答（コールセンターでのエンドユーザーとの対話）、創造的発見（薬

の新たな効用の発見、薬の副作用の予測)、判断支援(がん診断支援や電子カルテアドバイザー、保険約款の内容と事故の内容判断)等に応用範囲を広げている。また、同社は、2014 年夏に発表した脳型チップ「SyNAPSE」(開発コード名 TrueNorth: ネズミ並みの数のニューロンとシナプスを備えた非ノイマン型プロセッサ)の実用化に向けて、そのハードウェアとソフトウェアの開発環境を公開することで、SyNAPSE の普及活動を積極的に始めている。SyNAPSE の最大の強みは、画像認識や音声認識といった高度なパターン認識を極めて低い消費電力(約 0.07 W/chip)で実行できる点であり、IoT 等のセンサーネットワーク末端におけるエッジコンピューティングに向けた用途開発が加速している。

一方で、人工知能の進歩とその社会への浸透に対しては、想定されるインパクトの重要性や大きさから、さまざまな分野からの懸念の声が上がっている。コラム「浸透する IT とうまく付き合うための倫理的・法的・社会的課題(ELSI)」にその状況をまとめたので参照されたい。

(2) システム化、複雑化する世界

情報通信の無線化・大容量化・グローバル化は、機器や人をクラウドにリアルタイムにつなぐことを可能にし、いまや情報システム、制御システムを問わず世界中のあらゆるシステムは全地球を覆う巨大かつ複雑なシステムの一部となった。

高速通信の無線化・大容量化により、スマートフォンなどのインターネットにつながった携帯端末の普及が進み、IT は、われわれの生活の中に深く浸透し、現代社会を構成する多くの人々にとって、なくてはならないものになった。実世界とサイバー世界が、SNS (Social Networking Service) やクラウドといった技術により、リアルタイムにつながり、有機的に連携、統合する巨大な情報ネットワーク社会を形成する。この複雑なつながりは、人間のみならずモノもインターネットに接続する IoT (Internet of Things) の世界を形成し、今や実体のないコトもつながる IoE (Internet of Everything) の世界を形成しつつある。

産業界においても IT の活用はいまやもっとも重要なファクターである。うまく IT を活用した企業が利益をあげる時代とも言える。2011 年にうちだされたドイツの Industrie 4.0 や、米国 GE 社が提唱した Industrial Internet は、国をあげてサイバーとフィジカルを連携させた効率的な産業エコシステムを形成しようとする試みである。わが国でも内閣府 CSTI システム基盤技術検討会や新産業戦略協議会、また、経産省 IoT コンソーシアム等で、官民をあげてシステム化への検討が行われている。AI や IoT により価値創造の考え方や仕組みが変わり、また、産業構造を大きく変える。これにより人が携わる職業の種類が激変し、労働のあり方まで変わるとの予測が立っている。Industrie 4.0 は、これらの動きを AI と IoT による第 4 次産業革命とみる。コラム「IT を活用した社会システムの再構築 / 産業構造の変革」にこの流れを紹介する。

政策面をみると、平成 28 ~平成 32 年度の第 5 期科学技術基本計画では、「自ら大きな変化を起こし、大変革時代を先導していくため、非連続なイノベーションを生み出す研究開発を強化し、新しい価値やサービスが次々と創出される「超スマート社会」に向けた取組み」が柱の一つとなっている。さらに、内閣府 CSTI では 2020 年オリンピック・パラ

オリンピック東京大会に向けて最先端の技術で各国から訪れる選手や観客をもてなす準備が九つのタスクフォースの取り組みとして検討されている。いずれも IT を駆使したシステム化、統合化技術が大きな鍵となる。

わが国では、先端の技術研究成果を保有していたにもかかわらず、そのシステム化ができないためモノにならなかった。「システム化」は日本が不得意とする技術であると言われている。「技術の伝承」や「ビジネスの受発注」において、暗黙の了解でシステム化がなされてきたため、学や研究が進まなかったという見解もある。しかし、IT が生活に浸透し、人とあらゆる物事の間にネットワークが張り巡らされた複雑な状況下では、「暗黙の知」のままで、経済的・社会的な発展が見込めない。上述の活動を、産学官の連携により取り組む必要がある。

(3) ソフトウェア化、サービス化する世界

仮想化の考え方がハードウェアの隠蔽・共有からソフトウェアやサービスのコンポーネント化、再利用に広がり、FinTech などの新たな IT 活用技術を実現した。また、人や資産をサービスコンポーネントとして共有するシェアリングエコノミーというサービス形態も出現した。

IDC が 2015 年 6 月 9 日に発表した“国内 Software-Defined Infrastructure (SDI) エコシステム市場予測”によれば、2014 年の国内 SDI エコシステム市場は、前年度比 35.4 ポイント増の約 600 億円、2019 年には 2014 年の 3.1 倍となる 1843 億円に達する。Software-Defined Storage (SDS) および Software-Defined Network (SDN) の導入の本格化、SDI オープンスタンダード化に向けたオープンコミュニティとベンダーの取り組みによって、アーキテクチャーと技術の成熟化が進み、SDI エコシステムがより一層拡大する。

技術面では、1999 年に VMware から発売された VMware Workstation が、ハードウェアのソフトウェア化（仮想マシン）に向けた最初の動きであろう。2003 年には Microsoft がコネクティクス社を買収し、Microsoft Virtual PC を商品化し、後に Hyper-V と名前を変えた。これらは Windows 上に PC/AT 互換機の仮想 PC 環境を構築するもので、イントラネットでの利用を想定し、外部からはシンクライアントを使って接続、セキュアな環境を構築できる。現在では、Amazon Web Service (AWS) などインターネット上に同様の機能を持つサービスが、クラウドベンダーから提供されている。この流れは、ネットワークやストレージにも及び、これらを組み合わせたデータセンターもソフトウェア化、サービス化されてきている。

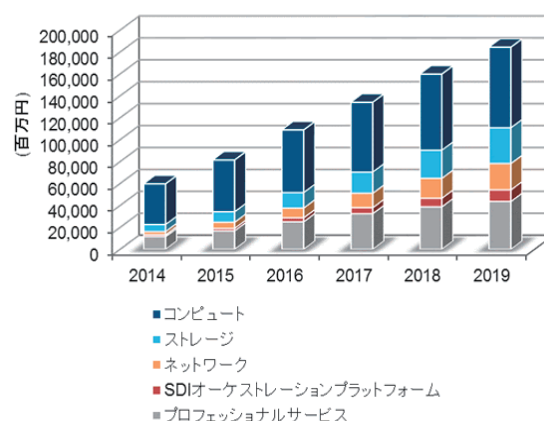


図 2-9 国内 SDI エコシステム市場 売上予測 2014 年～2019 年ⁱ⁾

i) 出典：IDC Japan (株)国内 SDI エコシステム市場に関する調査 (2015 年 6 月 9 日)

インターネット上のサービスは、Application Programming Interface (API) を経由して、コンポーネントとして提供され、他のサービスからの利用が可能となる。また、複数の API を組み合わせることで、新たな価値を持つサービスを提供できる。多くの API が提供されることによって、API エコノミーと呼ばれる新たな経済圏（エコシステム）が生まれつつある。これらのプラットフォームとして、IaaS 領域では OpenStack、CloudStack が、PaaS 領域では、CloudFoundry、OpenShift が、オープンコミュニティの力を活かして台頭してきている。

これらを活用した、新たな価値を提供するサービスも現れ始めている。特に、インターネットを通じて、モノやサービスを個人間で貸し借りしたり、企業から借りたりする生活スタイル（シェアリングエコノミー）が広がりつつある。配車サービスを展開している Uber というシステムは、配車アプリを通して、今居る場所への配車指示、目的地までの移動、決済などを行うことができる。現在は、人が運転する車が、目的地までの移動というサービスを提供しているが、将来的には自動運転車もシステムのコンポーネントのひとつになるだろう。配車を指示した人は、だれが運転しているのかを意識せずに、移動というサービスを使用することになる。他にも、自分の空き部屋やスペースを有料で旅行者に貸すサービスを提供する AirBnB や、FinTech といった IT を使ったお金にまつわるツールやサービスなど、ソフトウェア化、サービス化への動きが、加速してきている。

コラム「浸透する IT とうまく付き合うための倫理的・法的・社会的課題（ELSI）」

人工知能やロボットなどの研究開発が進展し、実社会への適用が次々と実現することに対して、倫理的・法的・社会的な視点での考慮（ELSI：Ethical, Legal, and Social Issues）は不可欠である。しかしながら、新しい科学技術の利用に関する懸念や不安は IT 固有のものではない。そもそも、ELSI に関する研究は、米国が 1990 年にヒトゲノム計画を立ち上げた際に、研究に潜む倫理的・法的・社会的問題を同時に研究するとしたことに端を発する。

IT においても、ELSI という言葉は使わないものの、情報の電子化に伴う個人情報漏えいやプライバシー侵害への危険性や不安に対して、早くも 1980 年には経済協力開発機構（OECD：Organisation for Economic Co-operation and Development）理事会の「プライバシー保護と個人データの国際流通についてのガイドラインに関する勧告」などの取り組みが始まっていた。わが国においては 2003 年に「個人情報の保護に関する法律」が成立した後、数々の事故や紆余曲折の議論を経て、2015 年には「改正個人情報保護法」が成立し、匿名化などの情報処理を施すことでパーソナルデータの利活用を促進する枠組みが整備された。並行して学術界でも、水谷雅彦らによるプロジェクト「情報倫理の構築（FINE：Foundations of Information Ethics）」（1998-2003）にて応用倫理学の一分野として、現代社会特有の倫理的矛盾の解決を目指す情報倫理学を構築する試みも行われた。

ロボットについては、1980 年代から自動車の組立工場などで産業用ロボットの利用が普及し始めたが、かつて産業革命当初、機械の普及による失業を恐れた労働者が起こした機械破壊運動（ラッダイト運動）のような排斥運動は起こっていない。新たに生まれた IT や知的作業の雇用が労働力を吸収したためと言われる。一方で、人工知能により自らの行動を判断・決定し動作する知能ロボットが工場から家庭や街中に活動の場を広げた結果、周囲にいる人間に対する安全・安心の課題が重要になってきた。日本では総じてヒト型ロボットの開発が活発であるが、今日の自動車もロボットの一種とみなせる。自動走行は、ロボットの三大要素である動力系技術、センシング系技術、制御系技術の高度な連携により初めて実現できるものである。車の自律的な判断による事故に対する責任問題は、倫理や法に関する議論を巻き起こしている。

人工知能については、興隆期と幻滅期を繰り返しながらも、現在第 3 次ブームを迎えて、ゲームやクイズなど知的とされる分野においても人間の能力を凌駕するレベルになりつつある。近年の急激かつ驚異的な進展により、コンピューターが人間を超える「技術的特異点」、シンギュラリティ（Kurzweil）という技術用語が新聞などの一般メディアにまで登場する。また、哲学者が超知性体 SuperIntelligence の脅威（Bostrom）を描出すると、それに呼応する形で、今度は産業界や情報科学とは異なる学術界から人工知能の開発に対する懸念が叫ばれるようになってきた（Musk、Hawking）。同時に経済学者や社会学者からは、人間の雇用を奪うコンピューター（Brynjolfsson、Osborne）という指摘や、人類はどこへ行くのかという哲学的な問題提起（Fuller）がなされた。

これに対して各国各地域でさまざまな取り組みがなされている。米国では、産学が入り交じって活発な活動が行われている。Stanford 大学の AI100 プロジェクトでは、1950 年から 100 年間で人工知能が人々の仕事や生活にどのような影響を与えるかという研究を開始した。The Future of Life Institute (FLI) は「安全で明るい未来を作るための研究とイニシアチブを推進する」というミッションを掲げ、自動機械に関するオープンレターを発信したり、寄付金を基金とした研究

開発の助成を行ったりなど積極的に活動を展開している。

欧州では、欧州委員会の主導により、欧州連合 (EU) FP7 の下、RoboLaw や Project ETICA (Ethical Issues of Emerging ICT Applications) が ICT に関わる倫理問題を扱っている。大学では、De Montfort 大学 (英) CCSR (Center for Computing and Social Responsibility) や Oxford 大学 (英) Future of Humanity Institute (FHI) の活動が目立つ。

日本では、政府と学術界が主導して次のような取り組みが行われている。情報倫理に関しては上述したプロジェクト FINE (1998 ~ 2003) にて IT 専門家の倫理ではない「情報化社会を生きる万人の倫理」を構築した。少し時間を置いて、村田潔のプロジェクト「組織情報倫理学」(2012 ~ 2016) が始まった。村田らは De Montfort 大 CCSR との関係も深く ETHICOMP 2007 (明治大学にて開催) を主催した。ロボットに関しては上述の通り安全基準やガイドラインが倫理に先行するが、本田康二郎はロボット倫理憲章を目指し一般市民を巻き込んだ活動をしている。土井美和子、萩田紀博、小林正啓は 2003 年より「ネットワークロボットフォーラム」にて、ロボットの社会受容に向けた活動を展開してきた。また、新保史生らは、ロボットは安全基準だけで安心して利用できるわけではないとして、必要な法概念としての「ロボット法学会」の設立を目指した活動を 2015 年から開始した。人工知能に関しては 2014 年には人工知能学会に倫理委員会が発足した。科学技術振興機構でも、人工知能の ELSI に関して、研究開発戦略センターを中心に 2013 年からワークショップを継続的に実施していたが、社会技術研究開発センターでも 2016 年度から新規研究開発領域として「人と情報のエコシステム」にて、情報技術のもたらすメリットと負のリスクを特定し、技術や制度へ反映してゆく研究開発の推進を目指している。

コラム「IT を活用した社会システムの再構築／産業構造の変革」

IT の発展と社会への普及は目覚ましく、それを活用することによる、社会インフラや行政、住民サービスといった社会システムの再構築と、製造業やサービス業といった産業の構造の変革が進められている。

[社会システムの再構築]

CPS (Cyber Physical Systems) や IoT (Internet of Things)、ビッグデータといった IT の高度化と社会への進展が進められている。その適用領域は、モバイル端末や自動車、航空機、ロボット、エネルギーネットワークや都市インフラ、さらには、そこで提供されるサービスまで対象が広がられている。これらの領域において CPS、IoT、ビッグデータをうまく連携させることにより、新たな知見を見いだしたり、新たなサービスの創出が図られ、既存の社会インフラや行政、住民サービスといった社会システムの改善、再構築が進められている。

米国政府では 2015 年にオバマ大統領が、地域社会が抱える交通渋滞、防犯、経済成長、気候変動への対応、市民サービスの向上等の主要な問題を解決することを目的とした、スマートシティ・イニシアチブを発表した。これを受けて NSF では約 3,500 万ドルの助成金を投じ、自動運転車やスマートビルディング等の統合を目指した CPS の研究開発や電力・交通システム等相互依存するインフラのデザインの改良といったプロジェクトを実施している¹⁾。

さらに 2017 年からは、関連したプロジェクトとして SCC (Smart and Connected Communities) の設計、適用、運営に従事する研究者への新たなファンディングを開始している²⁾。

ドイツでは、Industrie 4.0 のイニシアチブを掲げ、国や産業界、アカデミアが一体となって工場のデジタル化による産業の高度化を進めている。Industrie 4.0 では、生産設備をインターネットでつなぎ、工場間や本社機能をリアルタイムに連携することによる効率化や少量多品種、高加価値な製品の低コストな生産、市場化への時間短縮等が目標である。関連する技術の研究開発への助成は 2 億ユーロ程度だが、産学官が一体となった大規模なプロジェクトになってきており、2035 年頃をめどに上述したようなスマート工場の実現を目指すとしている³⁾。

[産業構造の変革]

社会システムの再構築が進められている一方で、産業界においては IT の活用により、従来のモノを作って売するというビジネスモデルから、モノを通じた価値の提供やサービスの提供によって収益を上げる、産業のサービス化が進んでいる。

具体的な事例として、GE 社が提唱する Industrial Internet が挙げられる。これは同社が提供する産業機器等に取り付けたセンサーから得られる稼働状況に関するビッグデータを収集・分析し、航空機や電車、ガスタービンなど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しようという取組みである。運用コスト低減や効率向上を実現するサービスとして新たなビジネスに据えようとしている。電力、医療、鉄道、石油・ガスの分野への導入を見込んでおり、同社の試算では 1% の効率改善でも、年間数十億ドル以上のコスト削減が可能としている。既に Industrial Internet をビジネス化するためのソフトウェアプラットフォームを開発しており、顧客企業への提供を開始している。さらに、IBM 社や Cisco 社などと共にコンソーシアムを結成し、標準化に向けた活動を行っている。

一方、IT の活用によって、社会に存在するさまざまなモノ (機能、遊休資産等) を必要とする者に必要な時に提供する、シェアリングエコノミーの市場規模が急速に拡大している。顕著な例として Uber が挙げられる。Uber は一般のドライバーが自家用車を使い、客を乗せて目的地まで送るというライド・シェアサービスである。サービスの仕組みは、スマートフォン等で Uber のアプリケーションを開き、そこから乗車希望をだす。GPS 機能によって近くにいる Uber のドライバーの情報が、利用者からの評価情報とともに表示される。利用者はその情報から希望するドライバーにオファーを出すことができる。このように Uber では、アプリケーション (プラットフォーム) を通じてサービスの提供者 (ドライバー) と利用者 (客) の容易な結び付きを可能にしている。また、サービスの提供者、利用者の相互評価や金銭の授受をアプリケーション上で可能とすることでサービスの信頼性を担保している。

Uber は、既に世界 500 都市以上で利用可能で、推定企業価値は 650 億ドルと言われるほど急成長を遂げている。

また、IT の活用によるシェアリグエコノミーの対象は居住空間や労働力（技能）、物流等さまざまな分野に広がっており、その市場規模がますます拡大している状況にある。

〔わが国の取り組み〕

わが国では、IT による社会システムの再構築、産業構造の変革として、これまで CPS や IoT に係る研究開発およびその実装に向けたプロジェクトが各省庁によって進められてきた。2015 年には 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官学で利活用を促進するべく、IoT コンソーシアムが設立されるなど、官民上げての動きも活発化している。

さらに、2016 年度から開始された第 5 期科学技術基本計画では、ネットワークや IoT の活用をさまざまな分野に広げ、サイバー空間とフィジカル空間（現実空間）が高度に融合した「超スマート社会」を未来の姿とし、その実現に向けた取り組みを推進しようとしている。この中で、エネルギーシステムや道路交通システム、ものづくり等サービスや事業のシステム化とその高度化、各システム間の連系に向けた超スマート社会のサービスプラットフォーム構築が進められようとしている。

【参考資料】

- 1) ICT 分野の研究開発に関する米国連邦政府及び議会の動向
https://www.nict.go.jp/global/4otfsk0000000osbq-att/re201603_2_1.pdf（2017 年 1 月 13 日アクセス）
- 2) NSF, Smart and Connected Communities (S&CC)
https://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=505364（2017 年 1 月 17 日アクセス）
- 3) 国立研究開発法人科学技術振興機構，研究開発戦略センター，ドイツ政府の第 4 次産業革命 Industrie 4.0
<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2014/FU/DE20140917.pdf>（2017 年 1 月 17 日アクセス）

2.3.1.2 研究コミュニティの動向

システム・情報科学技術はさまざまな科学技術を有機的に結びつける分野横断性、汎用性、オープン性が高い科学技術であるため、本分野に属する研究者のコミュニティは極めて多岐にわたる。その中でも比較的規模が大きく、特に関連が強いと思われる国内組織として次のような学会が挙げられる。電子情報通信学会（3 万 26 人）、電気学会（2 万 2215 人）、情報処理学会（1 万 9847 人）、計測自動制御学会（5489 人）、精密工学会（4882 人）、日本ロボット学会（4164 人）、人工知能学会（3913 人）、日本応用数理学会（1642 人）、日本バーチャルリアリティ学会（1375 人）、システム制御情報学会（1327 人）、ヒューマンインタフェース学会（1192 人）、日本ソフトウェア科学会（1136 人）（括弧内の数字は学会名鑑ⁱ⁾で公表されている 2016 年 12 月時点での各学会の会員数）。この他にも関係する学会は数多くあるが、その詳細については俯瞰報告書のシステム科学技術分野（2015 年ⁱⁱ⁾）および電子情報通信分野（2013 年ⁱⁱⁱ⁾）に記載している。

ただし、本分野では研究者が活動できる場が学会以外にもさまざまあることに注意が必要である。代表的な例として次のようなものが挙げられる。

1) 国際的な競技大会

- ・米国国防高等研究計画局（DARPA）におけるグランド・チャレンジやロボティクス・チャレンジ
- ・米国国立標準技術研究所（NIST）における情報検索関連の TREC（Text REtrieval Conference）
- ・スタンフォード大学が立ち上げた画像集 ImageNet を用いた画像認識関連の

i) <https://gakkai.jst.go.jp/gakkai/>

ii) <https://www.jst.go.jp/crds/report/report02/CRDS-FY2015-FR-06.html>

iii) <https://www.jst.go.jp/crds/report/report02/CRDS-FY2013-FR-04.html>

ILSVRC (ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition)

- ・ 国立情報学研究所 (NII) における情報検索関連の NTCIR (NII Testbeds and Community for Information access Research)
- ・ 世界中のデータサイエンティストが集まるプラットフォーム **Kaggle**

これらの場で日本の大学、企業の研究チームが優勝を含め好成績を収めた例は少ない。

2) Open Source Software (OSS) 等の開発

わが国の研究開発では 1) のような活躍がある一方、プログラミングで広く用いられる OSS 自体の開発を主導する人があまり出てきていない。同様のことは **Application Programming Interface (API)** 開発にも当てはまる。多くの場合、提供された OSS や API を利用したプログラムやサービス等の開発のレベルにとどまっている。1990 年代における、まつもとゆきひろによるプログラミング言語 **Ruby**、最近の例では **Preferred Networks (PFN)** の得居誠也らによる深層学習のフレームワークの OSS である **Chainer** の開発等、わが国の研究者、企業が活躍している部分もあるが、今後わが国が本分野で世界的存在感を示していくためには、こうした基本的フレームワークの開発を主導できる人材が必要となる。

3) 標準化に関する取り組み

2) と同様の観点でシステム・IT 規格の標準化へ向けた活動も本分野における重要な課題である。国際標準化機構 (ISO) や国際電気標準会議 (IEC) 等の国際的な標準化団体における標準化規格を主導して提案していくことが、その後のわが国企業のビジネスチャンスにもつながる。

このように本分野の研究者はアカデミック領域からビジネス領域まで広くかかわっていることから、その評価においては論文数や論文被引用数、インパクトファクターといった通常用いられる指標だけではなく、より多面的な見方が必要である。

近年、全分野的にほとんどの国内学会で会員数が減少している。このことは本分野の研究者が多く集まる電子情報通信学会や情報処理学会等においても例外ではない。そうした中、社会的ニーズの高まりもあり、とりわけ人工知能学会ではこの数年で急速に会員数が増加している。これは 2011 年から 2012 年にかけて音声認識や画像認識等において深層学習の手法が急激に発展したことによる影響が大きい。2012 年、Google により猫の画像を猫としてコンピュータが認識できるようになったことが各種メディアでも取り上げられ広く知られるようになった。その後も 2016 年 3 月に Google のコンピュータ囲碁プログラムである **Alpha GO** が第一線級のプロ棋士との対戦で勝利するなど、深層学習に端を発する人工知能 (AI) の社会的認知度は大きく高まっている。このような AI ブームもあって人工知能学会会員の研究分野の裾野が広がってきている。また最近の全国大会では会員のみならず一般参加の人も増え、さまざまな人々が交流を深める場としても活気を帯びている。

AI 研究に関連して、わが国の研究機関では 2015 年 5 月に産業技術総合研究所が人工

知能研究センター、2016 年 4 月には理化学研究所が革新知能統合研究センターを設置した。産業界では 2016 年 1 月、トヨタ自動車が米国シリコンバレーに人工知能の研究開発拠点 Toyota Research Institute, Inc. (TRI) を設立した。最高経営責任者には DARPA でロボットの研究開発に関するプログラム・マネジャーを務めた Gill A. Pratt 氏が抜てきされている。今後 5 年間で約 10 億ドルを投入することになっている。産学連携についても 2016 年 4 月に産業技術総合研究所と日本電気が「産総研・NEC 人工知能連携研究室」、2016 年 6 月には日立製作所と東京大学が「日立東大ラボ」を共同で設立するなど活発化してきている。

AI との関わりが深いロボットの研究開発も急速に進展してきている。その一方で、AI やロボットが近い将来、人間の仕事を奪うといったことも危惧されるようになってきた。こうした中、日本ロボット学会では 2014 年 9 月に「開かれた知能研究専門委員会」、2015 年 4 月には「ロボット哲学研究専門委員会」を、人工知能学会では 2014 年 12 月に「倫理委員会」を設置し、これからの社会における AI、ロボットと人間の関わり方などを検討している。

日本学術会議からは本分野との関連性が高い文書として、次の四つの提言が最近出されている。「ビッグデータ時代における統計科学教育・研究の推進について（2014 年 8 月）」および「ビッグデータ時代に対応する人材の育成（2014 年 9 月）」では ICT の飛躍的進歩により時々刻々蓄積されているビッグデータを活用していくために、データサイエンティストの育成が急務であることや統計科学教育を充実させる必要性などが論じられている。「初等中等教育における算数・数学教育の改善についての提言（2016 年 5 月）」では初等中等教育における算数・数学教育における統計教育の質・量の改善、ICT を算数・数学の探求ツールとして利用することを念頭にいた教育課程の再編、数学による課題学習の拡充といったことが論じられている。「オープンイノベーションに資するオープンサイエンスのあり方に関する提言（2016 年 7 月）」では研究データのオープン化とデータ共有のあるべき姿に焦点を絞って検討がなされている。

2014 年 4 月 10 日に開催された日本学術会議総会では JST 研究開発戦略センター長（当時）の吉川弘之によって「科学者の助言（Policy for Science と Science for Policy）」が提出されている。そこでは「科学のための政策（Policy for Science）」、「政策のための科学（Science for Policy）」、「科学顧問の必要性」などが論じられている。政策のための科学については文部科学省が政策研究大学院大学を中核拠点とした SciREX 事業を 2013 年度から進めている。SciREX 事業におけるプロジェクトの一つ「経済社会的効果測定手法の開発」では ICT、とりわけ Internet of Things (IoT) 領域に焦点を絞って、その要素技術ならびに応用技術の開発が及ぼす社会経済的影響を評価する政策シミュレーション用のモデル開発が行われている。なお科学顧問関連では、2015 年 9 月に外務省が岸輝雄東京大学名誉教授を外務省参与（外務大臣科学技術顧問）に任命している。

2.3.2 科学技術政策・研究開発戦略の動向

諸外国・地域のシステム・情報科学技術に関連する政策・戦略や制度の一覧を以下に示す。

	日本	米国	欧州	中国	韓国
成長戦略 産業政策 科学技術政策 情報通信政策 個別政策・戦略	●日本再興戦略 2016：経済の好循環を民間の本格的な動きにつなげる三つの課題として、新たな有望成長市場の創出・拡大、生産性の抜本的向上、人材強化に取り組む ●第 5 期科学技術基本計画（2016）：未来の産業創造と社会変革に向け、世界に先駆けての超スマート社会（Society 5.0）実現を目標に掲げる ●世界最先端 IT 国家創造宣言（IT 総合戦略本部，2016 改定）：世界最高水準の IT 利活用を通じた、安全・安心・快適な国民生活の実現を目標に掲げる ●サイバーセキュリティ戦略（NISC,2015）：2014 年に制定されたサイバーセキュリティ基本法に基づく国の行政機関等の関係者の共通の理解と行動の基礎となる戦略 ●情報セキュリティ研究開発戦略（NISC，2014 改定）：サイバーセキュリティー戦略（NISC，2013）に基づき、情報セキュリティー研究開発の今後 3 年程度を見据えた基本的方針。本方針に基づき、政府や公的研究機関等での研究開発を推進 ●個人情報の保護に関する法律（改正法 2015 年公布）：個人情報の取り扱いの監視監督権限を有する第三者機関（個人情報保護委員会）の設置とマイナンバー利用推進に係る制度改正	● Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing¹⁾（PCAST, 2011）：先端製造の米国の地位回復に向けトランスフォーマティブな技術開発を加速する必要性を指摘し、先端製造パートナーシップが始動。活動の一環として National Robotics Initiative が発表され NSF、NIH、NASA、USDA、DoD の共同公募が開始 ● NITRD Strategic Plan（NSTC, 2012）：研究開発の 5 カ年計画。米国がリーダーシップを保持し続けるために強化すべき三つの領域を挙げた ● Big Data Research and Development Initiative²⁾（2012）：大規模・複雑なデータから知見を引き出す能力を高め、科学的発見、環境・生物・医学、教育、国家安全保障などの課題解決能力を変革。2015 年には NSF の Big Data Regional Innovation Hubs プログラムにより米国 4 地域でアカデミア、産業、政府の協働コンソーシアムが設立されて重要課題の解決に取り組む ● The BRAIN Initiative³⁾（2013）：脳細胞や神経回路のダイナミックな相互作用を描く新技術の開発と応用を目指す Grand Challenge。2015 年度予算 200M\$、2016 年度予算では 300M\$ を充当 ● Big Data and Privacy: a Technological Perspective(PCAST, 2014)：Big Data とプライバシー保護の関係において連邦政府が取り組むべき五つのステップを提言 ●米国イノベーション戦略⁴⁾：2011 年の戦略ではイノベーション基盤の一つに先端情報技術のエコシステム構築を挙げた。2015 年では国家的優先課題に Smart city 建設やコンピューティングのフロンティア探索なども掲げた ● National Strategic Computing Initiative⁵⁾（2015）：エクサスケールシステム実現、モデリング・シミュレーション技術とデータ解析技術の統合、ポスト Moore 時代の進むべき方向性の確立、国の HPC エコシステム強化、官民協働の維持・拡大を目指す ● Smart Cities Initiative⁶⁾（2015）：160M\$ を投じて、交通渋滞の緩和、防犯対策、経済成長の促進、気候変動による影響の管理、市民サービスの向上など主要な課題に取り組む地域社会を支援 ● Report to the President and Congress Ensuring Leadership in Federally Funded R&D in Information Technology⁷⁾（PCAST, 2015）：PCAST による定期的な NITRD プログラムのレビュー報告書。プログラム・コンポーネント・エリア（PCAs）の定期的見直し、PCAs と切り離れた機動的な省庁横断フォーカスグループの運用を提言。これを受け 2017 年度予算⁸⁾ より大規模データ管理と解析、ロボティクスと知能システムを追加して PCAs を 10 個に拡張 ●国家科学技術会議（NSTC）に NITRD に加えての機械学習と人工知能小委員会（MLAI）を設置（2016） ● Federal Cybersecurity Research and Development Strategic Plan⁹⁾（NITRD, 2016）：Cybersecurity 強化法（2014 年）に基づき策定される Strategic Plan。2011 年の Strategic Plan を継承し、抑止、防御、検出、適応の 4 要素にフォーカス ● The Federal Big Data R&D Strategic Plan¹⁰⁾（NITRD, 2016）：各省庁が使命を果たす際に Big Data を活用するガイドとなることを目的に七つの戦略を掲げている ● Preparing for The Future of Artificial Intelligence¹¹⁾（NSTC, 2016）：人工知能がさまざまな役割を担う未来に向けて準備を整えるために連邦政府や他の関係者が採るべき 23 個の活動を提言 ● The National Artificial Intelligence R&D Strategic Plan¹²⁾（NITRD, 2016）：上記の NSTC 報告書と対となる報告書であり連邦政府が支援する AI 研究目的を定めた。負のインパクトを最小化し、幅広い便益を得るための七つの戦略を特定	【欧州連合】 ● Europe 2020（2010）：欧州の成長戦略で七つの実現手段を掲げる。その一つが情報通信政策 Digital Agenda である。 ● Horizon 2020（2014）：FP7 の後継の研究開発・イノベーション枠組みプログラムで、研究の成果をイノベーション・経済成長・雇用につなげることを強く意識 ●欧州デジタルアジェンダ（2010）：超高速インターネットとアプリケーションの相互運用に基づくデジタル単一市場から持続可能な経済的・社会的便益をもたらすことが全体目標 【英国】 ●成長計画：科学とイノベーション（BIS, 2014）：英国の強みを維持するために、八大技術への重点化と産業戦略、科学的才能の育成、科学研究インフラ投資、グローバルな科学研究やイノベーションへの参加などを掲げている ●スペンディング・レビューおよび秋の予算編成方針 2015（2015）：2016 ～ 2020 年度を対象とした複数年度にわたる予算計画で科学技術イノベーションに関しては、カタパルト・プログラムを含む Innovate UK の取り組みの強化などを掲げる ●サイバーセキュリティー国家戦略（2016 ～ 2021）：防衛（Defend）、阻止（Defer）、開発（Develop）の 3 つを主要領域とし、ファンディングを強化 【ドイツ】 ●新ハイテク戦略 2020（BMBF, 2014）：グローバル課題の 5 重点分野、課題解決型アクションプランの 11 未来プロジェクトを掲げている。未来プロジェクトの二つは統合され Industrie 4.0 へ発展 ●ドイツ・デジタル 2015（BMW i, 2010）：2015 年までに実施すべき取り組み・プロジェクトを重要度づけ ●デジタルアジェンダ 2014・2017（BMW i, BMI¹⁵⁾, BMVI¹⁶⁾, 2014）：七つの行動エリアを掲げている 【フランス】 ●新産業フランス（2013）：企業の技術開発活性化計画で重要分野の一にビッグデータを挙げている ●France Europe 2020（2013）：九つの戦略領域を掲げ、特に①社会的課題への取り組み、④デジタル教育とインフラの充実が情報科学技術と関連が深い	●国民経済・社会発展第 13 次 5 カ年計画（2016）：経済発展、イノベーション、民生福祉、資源環境の 4 分野で具体的な指標を設定。インターネット経済、インフラ整備の項目が新たに追加、国民全体の教育と健康の向上が独立。今後 5 年間に実施予定の 10 分野（科学技術、農業水利、環境保護、設備製造、都市農村発展、交通、エネルギー、文化・教育、人材、医療・衛生）の百大プロジェクトを明示 ●国家中長期科学技術発展計画概要（2006）：2020 年までに世界トップレベルの科学技術力を持つイノベーション型国家とすることが目標 ●2006-2020 年国家情報化発展戦略（2005）：2020 年まで実現すべき九つの戦略目標を掲げている ●戦略的新興産業の育成・発展の加速化に関する決定（2010）：七つの戦略的新興産業の一つとして新世代情報技術産業を挙げ、物聯網、三網融合、LTE、次世代インターネット（IPv6）等を推進することを掲げている ●中国製造 2025（國務院，2015）：35 年先を見据えた最初の 10 年間の製造業高度化の総合計画で製造強国の仲間入りを目指す。高効率で持続可能な製造業への転換や需要に応じた迅速で柔軟性の高い生産の実現を目標に掲げる ●インターネット＋行動計画（2015）：インターネットと既存産業を結合し、新たなビジネス分野の開拓を目指す 【科学技術部】 ●第 13 次国家科学技術イノベーション計画（2016）：知識集約型サービス業の GDP における割合を 20% に引き上げるなど 12 項目の指標を設定 【工業・情報化部、他】 ●情報化および工業化の深度融合プロジェクト・アクションプラン（2013）：2018 年度までの大手企業と中小企業におけるビッグデータ利活用計画の詳細を提示 ●ロボット産業発展計画（2016）：工業・情報化部、発展・改革委員会、財政部が共同で発表。2016 年～ 2020 年の計画として、中国のロボット産業の迅速かつ健全で持続可能な成長を掲げる	●創造経済実現計画（2013）：国民の創造的アイデアと科学技術・ICT が結びつき、創業、新産業、新市場開拓により質の高い雇用を生み出すことを目標に掲げる ●創造経済ビタミンプログジェクト（2013）：科学技術・ICT と既存産業を融合させ、対象産業の高度化と問題解決を支援する全省庁プロジェクト ●創造経済ビタミンプログジェクト推進計画（2013）：重点分野を設定して 2013 年度より模範事業として実施 ●第 5 次国家情報化基本計画（未来創造科学部，2013）：2017 年までの国家情報化戦略に「国民の幸福のためのデジタル創造韓国の実現」を掲げ、四大戦略として「CORE」および 15 個の戦略別課題を設定 ●第 3 次科学技術基本計画（2013）：創造経済の実現に向けて、科学技術と ICT の融合による新産業創出、国民の生活の質向上等のための具体策として五つの戦略分野を掲げている ●政府 3.0 推進基本計画（安全行政部，2013）：オープンデータとカスタマイズ行政サービス提供、省庁縦割りの解消等を目指す ●スマート国家具現のためのビッグデータ・マスタープラン（安全行政部他，2012）：ビッグデータの活用によるスマート強国の実現をビジョンとし、①ビッグデータ共有・活用の共同設備構築、②技術開発ロードマップ策定、③人材育成、④公共データ公開と利用促進のための法制度の整備を掲げている ●ビッグデータ産業発展戦略（未来創造科学部他，2013）：医療・交通・物流などの 6 業種でビッグデータ活用を進め、七つの中核技術開発を進める ●IoT 基本戦略¹⁷⁾（未来創造科学部，2014）：2020 年までに国内 IoT 市場を 30 兆ウォンに拡大するための政府横断的 IoT 推進国家戦略 ●K-ICT 戦略（未来創造科学部，2015）：2020 年までに IoT 生産額 20 兆ウォン・輸出 2,100 億 \$ を目指す中長期的 ICT 産業発展のための基本戦略 ●IoT 拡散戦略（未来創造科学部，2015）：IoT 基本計画のスピードアップを目指す補充政策

	日本	米国	欧州	中国	韓国
		● Artificial Intelligence, Automation, and the Economy¹³⁾ (2016) : NSTC 報 告 書 Recommendation 15 にて作成が求められていた報告書であり、AI に駆動される自動化が経済に及ぼし得る影響を考察し、便益を増大させるとともに社会的費用を軽減する三つの戦略を提言 ● Computer Science For All Initiative¹⁴⁾ (2016) : 幼稚園から高等学校までの米国の全ての生徒がコンピューターサイエンスを学び、デジタル経済のクリエイターやテクノロジー駆動社会の能動的市民となるために必要な Computational Thinking を身につけることを支援 ● NSF Ideas for Future Investment (NSF, 2016) : NSF の長期的な研究課題を駆動する 10 の大胆な問いを提示。Harnessing Data for 21st S&T, Shaping the New Human を含む	● デジタル分野の政府活動ロードマップ(2013) : デジタル技術活用による①若年層の教育・就業機会増大と②国内企業の競争力強化、③デジタル社会・経済におけるフランスの価値向上を掲げている		● 知能情報産業発展戦略（未来創造科学部, 2016) : 大企業 6 社が知的情報技術研究所を設立し、政府は 5 年間で 1 兆ウォンを投資。企業のデータも活用し、企業・大学・国立研究所の人材が協力して、基礎・実用研究を進める
政策の企画・実施の主監省庁	● 内閣府・総合科学技術・イノベーション会議 (CSTI) : システム・情報科学技術分野に限られないが、省庁横断での研究開発の枠組みとして、革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) において、複数のプロジェクトが進められている ● 総務省：情報通信研究機構を中心に研究開発が進められている。IoT の技術開発と標準化、プロジェクト創出と実施のための規制緩和の提言などを推進する民間主導による産学官連携組織の IoT 推進コンソーシアム (2015 年設立) を経済産業省と共に支援 ● 文部科学省：理化学研究所内の革新知能統合研究センター (AIP) が 2016 年に設立。科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業の AIP ネットワークラボと連携して研究を推進 ● 経済産業省：産業技術総合研究所を中心に研究開発が行われ、2015 年には人工知能研究センターが設立	● 国立科学財団 (NSF) : PCAs に幅広く投資。基礎研究と人材育成を推進 ● 国防総省 (DoD) : ハイケイパビリティ・コンピューティングの研究開発、サイバーセキュリティと情報保証を中心に投資 ● エネルギー省 (DoE) : ハイケイパビリティ・コンピューティング基盤とアプリケーション、ハイケイパビリティ・コンピューティングの研究開発を中心に投資 ● 国立衛生研究所 (NIH) : ヒューマン・コンピューター・インタラクションと情報管理、ハイケイパビリティ・コンピューティング基盤とアプリケーションを中心に投資 ● 国防高等研究計画局 (DARPA) : サイバーセキュリティと情報保証、大規模データ管理と解析を中心に投資 ※省庁横断の枠組みとしてネットワーキング情報技術 (NITRD) プログラムがある ※プログラム予算として NITRD 小委員会や国家調整事務局 (NCO) を介する予算権限フローとはなっていない ※ NITRD プログラムは国家科学技術委員会 (NSTC) の NITRD 小委員会によって統括され、大統領科学技術諮問会議 (PCAST) よりプログラムの進捗と方向性の評価を受ける ※上記は NITRD プログラム参画省庁のうち 2015 年度予算額¹⁸⁾ の上位 6 省庁	【欧州連合】 ● 研究・イノベーション総局 : Horizon2020 の公募・採択を実施 ● 通信ネットワーク・コンテンツ・技術総局 : 情報通信政策 Digital Agenda for Europe を担当 【英国】 ● ビジネス・イノベーション・技能省 (BIS) : 政府民生研究開発資金の多くは BIS および BIS 傘下の機関より支出 ※ BIS 傘下の基礎・応用研究に対する主要な助成機関の研究会議をまたがる横断型研究プログラムの一つがデジタルエコノミー（産業と社会の転換）¹⁹⁾ である 【ドイツ】 ● 連邦教育研究省 (BMBF) : 科学技術イノベーション基本計画を策定 ● 連邦経済エネルギー省 (BMWi) : 情報通信政策を担当 【フランス】 ● 国民教育・高等教育・研究省 : 高等教育および研究に係る政策、予算等を所管。省際ミッション MIREs に係る予算案の策定や各省との調整機能も担う ※全ての研究・開発予算は研究・高等教育省際ミッション MIREs ごとに配分	● 科学技術部 : 科学技術政策の実施主体。トップダウンでの研究開発資金配分を行う。科学義実政策立案のため国务院の下に組織される専門家チームの事務局機能を担う。 ● 工業・情報化部 : ソフトウェア産業などを所管 ● 中国科学院 : 中国最大の研究機関 ● 国家自然科学基金委員会 : ボトムアップで研究開発資金を配分	● 未来創造科学技術部 : 科学技術政策の企画・立案の事務局機能、予算配分権を持つ。さらに、ファンディング・エージェンシーにあたる韓国研究財団 (MRF)、公的研究機関、KAIST 等の理工系の特殊大学などを所管。また、創造経済システムを実現する中核機関として、ICT に関する基本計画を策定・実施を担うことが定められている。なお、国務総理の所轄の下に設置され、ICT 政策の統合調整機能を担う情報通信戦略委員会は未来創造科学部長官が幹事を務めている
政府支出 予算規模	● 約 1100 億円 (2017 年予算案) ※国立研究開発法人運営費交付金、スーパーコンピューターの開発運用費を含む	● 45 億ドル (2016 年) ※ NITRD プログラムの 10 個のプログラム・コンポーネント・エリアの予算合計	● 34 億ユーロ (2016-2017, 2 年間) ※ Horizon2020 の Work Programme 2016-2017 の IT 関連予算²⁰⁾を集計 (卓越した科学、産業界のリーダーシップ確保、社会的課題への取り組み)	● 1318.8 億元²¹⁾ (2013 年) ※電子計算機とオフィス機器、電子通信設備の製造業における R&D 支出 ※研究機関・高等教育機関・企業の合計	● 168 兆 2960 億ウォン²²⁾ (2011 年) ※企業の R&D を含む年間の総支出

参考文献

- 1 Report to the president on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing
<https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-advanced-manufacturing-june2011.pdf>
- 2 Big Data Research and Innovation Initiative, 2012
http://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/big_data_press_release_final_2.pdf
- 3 The BRAIN (Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies) Initiative
<https://obamawhitehouse.archives.gov/BRAIN>
- 4 米国イノベーション戦略 2015 年概要
<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2015/FU/US20151105.pdf>
- 5 The National Strategic Computing Initiative (NSCI)
<https://www.nitrd.gov/nscli/>
- 6 "Smart Cities" Initiative
<https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/09/14/fact-sheet-administration-announces-new-smart-cities-initiative-help>
- 7 Report to the President and Congress Ensuring Leadership in Federally Funded R&D in Information Technology
https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/nitrd_report_aug_2015.pdf
- 8 The Networking and Information Technology Research and Development Program Supplement to President' s Budget 2017
<https://www.nitrd.gov/pubs/2017supplement/FY2017NITRDSupplement.pdf#page=10>
- 9 Federal Cybersecurity Research and Development Strategic Plan
https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/whitehouse.gov/files/documents/2016_Federal_Cybersecurity_Research_and_Development_Strategic_Plan.pdf
- 10 The Federal Big Data Research and Development Strategic Plan
<https://www.nitrd.gov/PUBS/bigdatardstrategicplan.pdf>
- 11 Preparing for the Future of Artificial Intelligence
https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf
- 12 The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan
https://www.nitrd.gov/PUBS/national_ai_rd_strategic_plan.pdf
- 13 Artificial Intelligence, Automation, and the Economy
<https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/whitehouse.gov/files/documents/Artificial-Intelligence-Automation-Economy.PDF>
- 14 Computer Science For All Initiative
<https://www.whitehouse.gov/blog/2016/01/30/computer-science-all>
- 15 BMI: ドイツ連邦内務省
- 16 BMVI: ドイツ連邦交通デジタルインフラストラクチャー省
- 17 国を挙げて IoT 活性化に取り組む韓国
https://www.ituaj.jp/wp-content/uploads/2016/05/2016_06-10-kaigaiKorea.pdf
- 18 NITRD 予算の推移
<http://itdashboard.nitrd.gov/>
- 19 科学技術・イノベーション動向報告～英国編～
<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2014/OR/CRDS-FY2014-OR-03.pdf>
- 20 A guide to ICT-related activities in WP2016-17
<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/horizon2020/files/Guide%20to%20ICT-related%20activities%20in%20WP2016-17%20A4%20v8.pdf>
- 21 2013 年全国科学技術経費投入統計広報
<http://www.sts.org.cn/>
- 22 2011 Survey of R D in Korea, KISTEP
<http://www.kistep.re.kr/en/c3/sub2.jsp?>

(1) 日本

【概観】

ハイリスク・ハイインパクトの研究を指向する革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) や基礎研究から出口までを迅速につなぐ戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) など政府主導の大規模プロジェクトにおいて、システム・情報科学技術に関連する複数のプロジェクトが推進されている。また、より中長期的な研究開発として、情報通信研究機構 (NICT)、科学技術振興機構 (JST)、産業技術総合研究所 (AIST)、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) などでの取り組みがなされ、近年では、人工知能研究連携会議の下での NICT、理化学研究所・革新知能統合研究センター (AIP)、JST・AIP ネットワークラボ、AIST・人工知能研究センターの連携など、いくつかの領域において省庁間の枠組みを超えた取り組みが進みつつある。

一方、2013 年に公表され、毎年改定されている世界最先端 IT 国家創造宣言において、当初、ブロードバンドなどのインフラ整備において世界最高水準となったものの、利用者ニーズを十分把握せず、組織を超えた業務改革 (BPR : Business Process Re-engineering) を行わなかったことで、IT の利便性や効率性が発揮できていないという反省が指摘されていた。こうした原因の一部として、IT の利用者である企業等に IT の知識を持つ人材が不足している構造的な問題が指摘されている。また、今後の IT が浸透しつづける社会において雇用や新産業創出の面からも人材の育成が急務となっている。このような流れのなか、2020 年度以降実施される次期学習指導要領でプログラミング教育の義務教育化が導入されることとなった。

また、近年では、JST のセンター・オブ・イノベーション (COI) プログラムをはじめ、近年の人工知能に対する期待の高まりとも相まって、大学と企業の連携研究が増加しており、一過性でない持続的な産学、産学官の研究進展に期待がもたれている。

技術動向としては、画像認識、深層学習などの領域で注目すべき成果を挙げている。例えば、NIST の顔認証ベンチマークテストで NEC が 2009 年、2010 年、2013 年と 3 連続で世界第一位を獲得し、オムロンの OKAO Vision は世界トップレベルのシェアを持つ。大学も TRECVID 等で複数回トップ成績を獲得している。また、PFN がロボット制御で Amazon Picking Challenge 2016 に初出場して 2 位 (1 位と同スコア) となり、トヨタやファナック等の大手との提携も発表している。

セキュリティの領域では、顔、指紋、虹彩などの生体認証技術の研究開発、応用、実用化に強みを持っている。近年は、経済産業省、総務省などが IoT セキュリティに注力しており、IoT セキュリティのガイドライン発行、制御システムセキュリティセンター設置などが行われた。サイバー攻撃への対応や応用研究の国際連携も活発化している。個人情報保護法が改正され、個人情報の取り扱いに関する監視や検査権限を有する個人情報保護委員会が発足した。

【政策の動向】

2016 年 1 月に閣議決定された第 5 期科学技術基本計画では、現在の世界を ICT の進化等により、社会・経済の構造が日々大きく変化する「大変革時代」が到来しているものと捉え、目指すべき国の姿として 4 項目を掲げた。そのうえで、未来の産業創造と社会変

革に向け、世界に先駆けて「超スマート社会（Society 5.0）」を実現する仕組み作りの強化をうたっている。

この「超スマート社会」とは、IT の発展と活用により、従来は個別に機能していた「もの」がサイバー空間を利活用して「システム化」され、さらには、分野の異なる個別のシステム同士が連携協調することで、自律化・自動化の範囲が広がり、人々に豊かさをもたらす社会で、「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、社会のさまざま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、言語といったさまざまな違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことのできる社会」である。

こうしたシステムとして先行的に 11 のシステムの開発と高度化を行い、段階的に連携協調を進めていくものとしているが、中でも「高度道路交通システム」、「エネルギーバリューチェーンの最適化」、「新たなものづくりシステム」をコアシステムとして開発し、他のシステムとの連携協調を早急に図り、経済・社会価値を創出するとしている。このために、産学官・関係府省連携の下、IoT を活用した共通プラットフォーム「超スマート社会サービスプラットフォーム」構築に必要な取り組みが推進されている。

さらに、現実世界で機能するコンポーネントとして各システムに組み込まれ、新たな価値創出のコアとなる基盤技術として、ロボット技術、センサー技術、アクチュエーター技術、ヒューマンインターフェース技術、これらに変革をもたらすバイオテクノロジー、素材・ナノテクノロジー、光・量子技術といった技術の強化を掲げている。そして、基盤技術の強化の在り方として、社会への展開を考慮しつつ中長期的視野から、高い達成目標を設定して取り組むとともに、その中で、技術の社会実装が円滑に進むように研究開発を進める仕組みの構築が重要であるとしている。

具体的な体制としては、日本再興戦略 2016 に示されたように、第 4 次産業革命を推進する政府全体の司令塔として「第 4 次産業革命官民会議」が設置され、同会議の下に、「人工知能技術戦略会議」、「第 4 次産業革命 人材育成推進会議」、「ロボット革命実現会議」を位置づけ、重点分野の特定、重点分野別戦略の策定、横断的施策（規制改革、研究開発、資金供給、人材育成等）が進められている。また、総合科学技術・イノベーション会議において、システム・情報科学技術分野では、システム基盤技術検討会（2016 年 1 月～）および新産業戦略協議会（2016 年 1 月～）が設置されている。

また、高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT 総合戦略本部）において 2013 年 6 月に策定された世界最先端 IT 国家創造宣言では、2020 年までに世界最高水準の IT 利活用社会の実現とその成果を国際展開すること、震災からの復興の加速化にも資することを目標に掲げている。そして、革新的な新産業・新サービスの創出および全産業の成長を促進する社会、健康で安心して快適に生活できる世界一安全で災害に強い社会、公共サービスがワンストップで誰でもいつでも受けられる社会を目指すべき社会の姿として、成功モデルを実証するプロジェクトの推進や取り組みの進捗状況を定量的に評価するための KPI（Key Performance Indicator：重要業績評価指標）設定など見える化を重視して取り組むことを掲げている。これらの KPI に基づいて毎年進捗のフォローアップが図られている。

(2) 米国

【概観】

GAFA とも呼ばれる Google、Apple、Facebook、Amazon など大手インターネット関連企業や Microsoft、IBM などの伝統的 IT 企業が市場と技術開発をリードしており、また、ベンチャーなどの起業も盛んであり、起業から市場展開に至るエコシステムが構築されている。

情報科学技術の研究開発に関する省庁連携の枠組み NITRD プログラムにおいて特に NSF のファンディングを中心に基礎研究に対して継続的な投資がなされており、大学や公的研究機関における基礎研究レベルもハードウェア、ソフトウェア、情報システムに至るまで幅広く強みを持っている。情報科学技術を修める学生数が 2007 年を境に復調するなど人材面でも優位性を持っている。

技術動向としては、GE の Industrial Internet などいわゆる IT ベンダーだけでなくユーザー側が主導する IT を活用した産業構造を変革するような取り組みが活発化している。GE は 2014 年に AT&T、IBM、Intel と共に Industrial Internet Consortium を設立して、普及の推進を図るなど連携も進んでいる。ユーザー主導ではないが CPS/IoT に関係するものとして Qualcomm が主導し、OSS 提供により IoT の普及促進を目指す AllSeen Alliance (2013 年発足) やサムスン、デル、インテルによる新ワイヤレス規格の策定を目指す Open Internet Consortium (2014 年発足) などの活動もある。また、政府の Smart Cities Initiative (2015 年発表) では、地域コミュニティ、企業が連携し、交通渋滞緩和、防犯、地域経済の成長、気候変動への対応、市民サービス向上など、地域の問題解決と CPS / IoT の有効性の実証に同時に取り組んでいる。

ビッグデータや人工知能の領域では、大学、企業とも機械学習の研究が非常に活発であり、規模・質とも世界をリードしている。例えば、機械学習のトップレベル国際会議である ICML では、2016 年の採択論文の半数近くが米国発であった。また、GAFA をはじめとする巨大 IT 企業が積極的に投資をしていることに加え、Airbnb、Uber 等のベンチャー企業が誕生し、国際的に成功を収めている。

ロボティクスの領域では、NSF を中心に、NASA、USDA、NIH、DoD が参加する National Robotics Initiative の取り組みが進んでおり、ロボット開発のロードマップである From Internet to Robotics が公表されるなど産業界も巻き込み活発化している。

セキュリティの領域では、政府機関や NPO から、注意喚起、ガイドライン、技術情報が公開されているほか、各業界でも対応を進めている。巨大 IT 企業が認証連携などの技術を開発し、実サービスにおいて利用し、世界標準へと進化させている。

【政策の動向】

オバマ政権において 2009 年に策定され、2011 年、2015 年にアップデートされた米国イノベーション戦略ⁱ⁾では、質の高い雇用創出および持続可能な経済成長、国家的優先課題に対するブレークスルーの促進、国民と共にイノベティブな政府の実現を目指す方向

i) A Strategy for American Innovation, 2015

https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/strategy_for_american_innovation_october_2015.pdf

性が示されているⁱⁱ⁾。ブレークスルーの促進として、ヘルスケア、先進自動車、スマートシティ、クリーンエネルギー、教育技術、宇宙技術、コンピューティングのニューフロンティア、世界の最貧困状態の終焉を掲げている。また、持続可能な経済成長として、国家ロボティクスイニシアチブの推進やビッグデータ研究開発イニシアチブの推進、サイバー・フィジカル・システム分野への投資などが掲げられている。

さらに、こうした戦略を構成する要素として、連邦政府による投資、民間セクターによるイノベーション加速、人材の強化を挙げている。このうち、民間セクターによるイノベーション加速には、連邦政府データの公開、地域的イノベーションエコシステムの開発支援といった項目が含まれる。また、人材の強化には、賞金による国民の創造性の活用、クラウドソーシングや市民科学によるイノベーター人材の活用といった内容が含まれる。

こうしたイノベーション戦略の下、情報科学技術の研究開発に対する公的投資は、省庁横断の枠組みであるネットワーキング情報技術（NITRD）プログラムⁱⁱⁱ⁾を中心に戦略的に取り組まれている。NITRD プログラムは国家科学技術会議（NSTC）の NITRD 小委員会により統括されているが、プログラムの進捗と方向性について 2005 年以降は大統領科学技術諮問会議（PCAST）が評価を実施^{iv)}することになっている。PCAST によるプログラムレビュー^{v)}（2010 年）や米国イノベーション戦略（2011 年）を受け、NITRD 戦略計画^{vi)}が 2012 年に策定されている。戦略計画は研究開発の 5 カ年計画であり、米国がリーダーシップを確保しつつけるために強化すべき三つの広範な領域を挙げ、省庁連携の一層の推進、新たな産学連携や学際的な取り組みが必要と指摘している。

〔強化すべき三つの領域〕

- ①拡張された人とコンピューターの連携・協調（WeCompute）
- ②生活を任せられる安心・安全なシステムの設計・構築（Trust and Confidence）
- ③サイバー能力を最大限に活用するための教育・訓練の変革（Cyber Capable）

なお、プログラムレビューは、2013 年、2015 年に公表されており、2015 年版^{vii)}では予算計画上の技術領域であるプログラム・コンポーネント・エリア（PCA）を 6 年ごとに見直すこと、PCA と切り離れた機動的な横断フォーカスグループの運用を提言している。これを受けて、2017 年度予算より PCA は以下の 10 個に拡張された。また、NITRD 参加省庁による情報交換や共同で研究計画・活動を行うための Interagency Working Group（IWG）が組織された。

ii) <https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2015/FR/CRDS-FY2015-FR-07.pdf>
研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略（2016 年）

iii) The Federal Networking and Information Technology Research and Development Program: Background, Funding, and Activities, 2013
<http://www.fas.org/sgp/crs/misc/RL33586.pdf>

iv) Designing the digital future: Federally funded research and development in networking and information technology, 2013
<https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-nitrd2013.pdf>

v) Designing the digital future: Federally funded research and development in networking and information technology, 2010
<https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-nitrd-report-2010.pdf>

vi) The Networking and Information Technology Research and Development Program 2012 Strategic Plan
<https://www.nitrd.gov/Publications/PublicationDetail.aspx?pubid=38>

vii) Report to the President and Congress Ensuring Leadership in Federally Funded R&D in Information Technology
https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/nitrd_report_aug_2015.pdf

[プログラム・コンポーネント・エリア (PCA)]

- ①サイバーセキュリティと情報保証 (CSIA)
- ②ハイケイパビリティ・コンピューティングの研究開発 (EHCS)
- ③ハイケイパビリティ・コンピューティング基盤とアプリケーション (HCSIA)
- ④高信頼ソフトウェアとシステム (HCSS)
- ⑤ヒューマン・コンピューター・インタラクションと情報管理 (HCI&IM)
- ⑥大規模データ管理と解析 (LSDMA)
- ⑦大規模ネットワーク (LSN)
- ⑧ロボティクスと知能システム (RIS)
- ⑨ソフトウェアの設計と生産性 (SDP)
- ⑩ IT が及ぼす社会、経済、労働力への影響と IT 人材育成 (SEW)

[省庁間ワーキンググループ]

- ①ビッグデータ (BD)
- ②サイバーフィジカルシステム (CPS)
- ③サイバーセキュリティと情報保証 (CSIA)
- ④ヒューマン・コンピューター・インタラクションと情報管理 (HCM&IM)
- ⑤高信頼ソフトウェアとシステム (HCSS)
- ⑥医療情報技術 R&D (Health IT R&D)
- ⑦ハイエンド・コンピューティング (HEC)
- ⑧大規模ネットワーク (LSN)
- ⑨プライバシー R&D (Privacy R&D)
- ⑩ロボティクスと知能システム (RIS)
- ⑪ソーシャルコンピューティング (SC)
- ⑫ソフトウェアの生産性、持続可能性、品質 (SPSQ)
- ⑬映像と画像の解析 (VIA)
- ⑭無線スペクトル R&D (WSRD)

なお、2017 年 1 月現在、オバマ大統領からトランプ大統領へ政権が切り替わったところであり、今後の動向に注視が必要である。

(3) 欧州

【概観】

CPS/IoT による産業変革や社会的課題への対応の取り組みが活発化している。ドイツにおいて、Bosch、Siemens、SAP 等の企業が中心となり Industrie 4.0 を推進して、製造業やエネルギーの分野におけるサービスとの融合が進んでいる。自動車産業においても自動車ソフトウェアの標準化、センサーの標準化など相互運用性を高める取り組みが進んでいる。英国においても 2016 年には IoT の実証に向けた支援を行う IoTUK が設立され、デジタル・カタパルト、未来都市カタパルトとも連携して取り組みが進んでいる。欧州委員会も CERP (Cluster of European RFID Projects, 2007-) の RFID の研究開発の取り組み以降、IERC (IoT European Research Cluster, 2010-) に至るまで継続的に支援を行っ

ている。

ビッグデータや人工知能の領域では、英国の Google DeepMind は、ICML や NIPS 等のトップレベル国際会議での採択率もトップクラスで、AlphaGo で囲碁の世界トッププロに勝利するなど人工知能・深層強化学習の基礎・応用の両面で存在感を増している。

ロボティクスの領域は、社会的課題の対応に向けた重要な研究テーマとされ、国際 NPO の euRobotics の下に企業と研究機関が結集し、世界最大の民間ロボット開発計画 SPARC を 2014 年に立ち上げ、重要な応用領域として①製造業と産業、②ヘルスケア、③ホームケア、④農業、⑤セキュリティー、⑥環境、⑦運輸、⑧エンターテインメントに取り組んでいる。

セキュリティーの領域は、Horizon 2020 でも重要な社会的課題と認識し、研究開発を進めている。プライバシー保護に対する意識が高く、EU データ保護指令など法整備が他の地域と比べて先行している。

【政策の動向】

I. 欧州委員会

2010 年に発表された欧州の中長期成長戦略 Europe2020^{viii)} の七つのフラッグシップイニシアチブの一つが情報通信戦略である欧州デジタルアジェンダ^{ix),x)} である。デジタルアジェンダは高速インターネットと相互運用可能なアプリケーションに支えられたデジタル単一市場から持続可能な経済的・社会的便益を提供することを目的に掲げ、次の七つの行動領域を定めている。

- ①活気に満ちたデジタル単一市場
- ② ICT 標準と相互運用性
- ③信頼性・安全性
- ④高速・超高速インターネット
- ⑤研究開発とイノベーション
- ⑥デジタルリテラシー向上と社会的包摂
- ⑦ ICT を活用した社会的課題への対応

研究開発とイノベーションの行動領域では、米国と比較して欧州における IT 投資、R&D 投資が不十分であり、R&D 予算の確保、公共調達（Pre-commercial Procurement）や官民連携（Public Private Partnership）により民間投資へ、てこ入れすることを掲げている。

さらに、2012 年に公表された欧州デジタルアジェンダ - 欧州の成長をデジタルにより促進^{xi),xii)} では、2010 年の欧州デジタルアジェンダと相互に補完・強化する七つの重要領

viii) Europe 2020

http://ec.europa.eu/europe2020/index_en.htm

ix) A Digital Agenda for Europe

<http://ec.europa.eu/digital-agenda/digital-agenda-europe>

x) EU の情報通信政策動向の整理 - 欧州デジタル・アジェンダを中心に

http://www.fmmc.or.jp/pdf/report/report_eutrans_20110302.pdf

xi) A Digital Agenda for Europe - Driving European growth digitally

<http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/news/digital-do-list-new-digital-priorities-2013-2014>

xii) 【EU】欧州デジタルアジェンダ:2013～2014年の重点分野

http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_7544684_po_02540203.pdf?contentNo=1

域を掲げている。

- ①国境の無いデジタル経済の促進
- ②公的部門のイノベーションの加速
- ③超高速ネットワーク接続
- ④クラウドコンピューティング
- ⑤信頼性・安全性の保証
- ⑥ Web を用いた起業、雇用とスキル
- ⑦重要技術に対する産業界の取り組み

こうした戦略を背景として、Europe 2020 のフラッグシップイニシアチブの一つであるイノベーションユニオン（研究の成果をイノベーション・経済成長・雇用につなげる）を推進するものとして、2014 年より FP7 の後継枠組みプログラムとして Horizon 2020^{xiii)} がスタートした。Horizon 2020 は、卓越した科学（Excellent Science）、産業界のリーダーシップ確保（Industrial Leadership）、社会的課題への取り組み（Societal Challenges）の三つの柱の下で公募の年次計画（Work Programme）が立てられている。2016 年～2017 年の Work Programme では情報科学技術の研究開発と情報科学技術を活用した社会的課題への取り組みが含まれている^{xiv)}。

- ・卓越した科学
 - ・ Future Emerging Technologies (FET)
 - ・ Research Infrastructure
- ・産業界のリーダーシップ
 - ・ Information and Communication Technologies
 - ・ Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing
 - ・ Innovations in SMEs
- ・社会的課題への取り組み
 - ・ Health, demographic change and wellbeing
 - ・ Food security, sustainable agriculture and forestry, marine and maritime and inland water research and bioeconomy
 - ・ Secure, clean and efficient energy
 - ・ Smart, green and integrated transport
 - ・ Climate action, environment, resource efficiency and raw materials
 - ・ Europe in a changing world – Innovative, inclusive and reflective societies
 - ・ Secure societies – Protecting freedom and security of Europe and its citizens
- ◎その他の資金配分として、
 - ・ 欧州イノベーション技術機構（EIT）：活動拠点となる知識・イノベーションコミュ

xiii) Horizon 2020, Bigger Simpler Bolder, Fifth edition of the guide to Europe's innovation strategy and its first work programmes, 2014
http://cpi.asm.md/wp-content/uploads/2014/06/H2020_Guide.pdf

xiv) A guide to ICT-related activities in WP2016-17
<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/horizon2020/files/Guide%20to%20ICT-related%20activities%20in%20WP2016-17%20A4%20v8.pdf>

ニティー（KICs）^{xv)}において教育活動を行いながら研究とイノベーションを進める組織体制。情報科学技術関連の KIC である EIT Digital では、Digital Wellbeing、Digital Industry、Digital City、Digital Infrastructure という四つの変革をテーマに掲げている。

◎欧州委員会や欧州委員会の執行機関以外による Horizon 2020 の資金配分 ^{xvi)}

- ・欧州技術プラットフォーム（ETP）^{xvii), xviii)}：バイオ、エネルギー、環境、情報通信、生産・プロセス、輸送の 6 分野があり、欧州委員会に戦略的研究アジェンダ（SRA）を提出する。情報科学技術に関連の深い次のような ETP がある。

ARTEMIS: 組み込みシステムと CPS

ENIAC: ナノエレクトロニクス

EPoSS: スマートシステム（自動車、健康生活、製造とロボティクス、通信、マイクロ・ナノバイオ融合システム、キーテクノロジー）

ETP4HPC: ハイパフォーマンス・コンピューティング

euRobotics（NPO）：ロボティクス

NEM: 新メディア・コンテンツ

NESSI: ソフトウェア・サービス・データ

Networld 2020: 通信ネットワークとサービス

Photonics21: フォトニクス

- ・共同技術イニシアチブ（JTI）^{xix)}：一部の ETP の SRA を実施する産学連携の枠組みで中立的な専門組織が作られ、そこで産業界や他のステークホルダーが協力して、研究プロジェクトを管理する。情報科学技術に関連の深い次のような JTI がある。

Embedded Computing Systems（ARTEMIS）

Nanoelectronics Technologies 2020（ENIAC）

II. 英国

2015～2016 年を対象にした複数年度予算計画「スペンディング・ラウンド 2013^{xx)}」が 2013 年 6 月に財務省から発表された。計画では、カタパルトセンターやバイオメディカルカタリスト基金を含めイノベーションの支援を行っている技術戦略会議（TSB、2014 年 8 月より Innovate UK と改称）に対して 1 億 8500 万ポンドの資源予算を追加配布することが明記されている。また、資本予算を 2012 年～2013 年の 6 億ポンドから

xv) EIT Digital

<https://eit.europa.eu/eit-community/eit-digital>

xvi) 研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略（2016 年）

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2015/FR/CRDS-FY2015-FR-07.pdf>

xvii) Horizon2020 における欧州技術プラットフォームを活用した官民パートナーシップ:EGVI の事例

<http://hdl.handle.net/10367/5783>

xviii) European Technology Platforms

http://ec.europa.eu/research/innovation-union/index_en.cfm?pg=etp#etps

xix) JTI

http://ec.europa.eu/research/jti/index_en.cfm?pg=home

xx) Spending Round 2013

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/209036/spending-round-2013-complete.pdf

2015 年～2016 年には 11 億ポンドに増額することが明記されている。スペンディング・レビューおよび秋の予算編成方針 2015 は、2016～2020 年度を対象とした予算計画で、カタパルト・プログラムを含む Innovate UK の取り組みの強化などを掲げている。

また、2014 年 12 月にビジネス・イノベーション・技能省 (BIS) から科学・イノベーション戦略「成長計画：科学とイノベーション^{xxi)}」が発表された。計画のなかで、科学とイノベーションの強みを維持するものとして、八大技術 (Eight Great Technologies) への重点化と産業戦略、デジタルスキルも含む科学的才能の育成、科学研究インフラへの投資、研究へのファンディング、イノベーションの促進、グローバルな科学研究やイノベーションへの参加を掲げている。ここで八大技術とは英国が強みを持つと考えられる①ビッグデータとエネルギー効率の高いコンピューティング、②人工衛星と宇宙空間の商業利用、③ロボティクスと自律システム、④合成生物学、⑤再生医療、⑥アグリサイエンス、⑦先進材料とナノテクノロジー、⑧エネルギーと蓄積である。また、特筆すべきものとして、科学研究インフラへの今後 5 年間 (2016 年～2021 年) で 59 億ポンドの投資のなかで、ビジネス利用を目的とした六つの新たな投資の一つとして、ハートレーセンターのコグニティブコンピューティング研究センターに 1 億 1300 万ポンド投資し、計算機の専門家でなくてもビッグデータからの知見を得られるようにすることを目指している。また、イノベーションの促進として、Innovate UK が管理運営するカタパルトセンターは産学連携の拠点を形成し、企業、科学者、エンジニアが研究開発を行い、アイデアを新たな製品やサービスに転換することを目指している。既存の①細胞治療、②連結デジタル経済、③未来都市、④高付加価値製造、⑤オフショア再生エネルギー、⑥人工衛星応用、⑦輸送システムのカタパルトセンターに加えて、⑧エネルギーシステム、⑨精密医療のカタパルトセンターを新たに発足させること、④高付加価値製造を強化することを掲げている。そのうち、ビッグデータに関連の深い②連結デジタル経済カタパルトセンターは、信頼できる手段による私有データの早期の共有を図り、2018 年までに 3 億 6500 万ポンドの経済的付加価値を生み出すことを目指している。このために多くの中小企業が迅速かつ低リスクでイノベーションを実現するためのプラットフォームを構築する。なお、Innovate UK は 2011 年にオープンデータを活用したスタートアップの育成、スキルアップ、経済インパクトの分析とビジネスモデル開発を目標に掲げて 1000 万ポンド/5 年のファンドにより Open Data Institute^{xxii)} を設立している。

Ⅲ. ドイツ

科学技術イノベーション基本計画が 2010 年に更新され、連邦教育研究省 (BMBF) より「新ハイテク戦略 2020^{xxiii)}」として 2014 年に発表された。新ハイテク戦略 2020 では、グローバルな課題である五つの重点分野 (①気候・エネルギー、②健康・栄養、③輸送、

xxi) Our plan for growth: science and innovation

<https://www.gov.uk/government/publications/our-plan-for-growth-science-and-innovation>

xxii) Open Data Institute

<http://opendatainstitute.org/>

xxiii) ドイツの科学技術イノベーション政策：新ハイテク戦略

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2014/FU/DE20140916.pdf>

④安全、⑤通信)を掲げるとともに、課題解決型アクションプランとして 11 の未来プロジェクトを策定している^{xxiv),xxv)}。11 の未来プロジェクトとは、① CO₂ ニュートラル社会の実現、②エネルギー供給構造改革、③再生可能エネルギー、④個別化医療・よりよい治療、⑤最適な栄養摂取と健康増進、⑥自立した高齢者の生活、⑦持続可能な輸送・電気自動車導入、⑧通信ネットワーク・個人情報の安全、⑨インターネットベースのサービス、⑩世界の知識へのデジタルによるアクセス・体験、⑪明日の労働環境と労働体制であり、⑩⑪は後に統合され Industrie 4.0 のイニシアチブへと発展している。Industrie 4.0 では、製品輸出および製造技術輸出により生産拠点としての競争力を確保しつつ、モノとサービスのインターネットの生産過程への活用、Cyber-Physical Systems でネットワーク化された考える工場の実現などを目標に掲げている。

なお、連邦政府のハイテク戦略の重要なプロジェクトである先端クラスターコンペティションのうち情報科学技術に深く関連するものとして、it's OWL (OstWestfalenLippe、インテリジェント技術システム) がある^{xxvi)} が、「考える工場」のモデル運用を主な研究内容としており、Industrie 4.0 の重要な産学連携拠点の一つとなっている。

一方で、情報通信政策を担当する連邦経済エネルギー省 (BMWi) より「ドイツ・デジタル 2015」(2010 年) として 2015 年までに実施すべき取り組み・プロジェクトの重要度付けを行っている。このなかで、①経済活動の全局面で ICT の活用を通じて企業の競争力を強化すること、②将来の課題に 대응するため ICT に係るインフラやネットワークを拡大すること、③利用者の個人的な権利を保護すること、④ R&D の促進と成果の迅速な商業化、⑤ ICT 活用に関する学校教育・職業教育・生涯教育の強化、⑥環境・気候変動・健康保健・モビリティ・行政・市民の QoL 向上に取り組むとしている。また、2014 年には、連邦経済エネルギー省 (BMWi)、連邦内務省 (BMI)、連邦交通デジタルインフラストラクチャー省 (BMVI) の連名による「デジタル・アジェンダ 2014 ~ 2017^{xxvii)}」が連邦政府より公表されている。アジェンダでは七つの主な行動エリアとして、①デジタルインフラストラクチャー、②デジタル経済と職場、③イノベーティブな行政機関、④社会におけるデジタル環境の形成、⑤教育・科学・研究・文化・メディア、⑥社会・経済におけるセキュリティ・保護・信頼の構築、⑦欧州および国際的協調を掲げている。

IV. フランス

高等教育・研究法が 2013 年 7 月に施行され、これを踏まえて研究戦略 France Europe 2020^{xxviii)} が策定されている。戦略では、①社会的課題への取り組み、②研究戦略策定機能

xxiv) ドイツ政府の第 4 次産業革命
<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2014/FU/DE20140917.pdf>

xxv) 【解説】ドイツ・ハイテク戦略 2020
http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_3487183_po_20110312.pdf?contentNo=1&itemId=info:ndljp/pid/3487183&_lang=ja

xxvi) 情報科学技術に関連する先端クラスターコンペティションとして他に Software-cluster がある

xxvii) デジタルアジェンダ 2014 ~ 2017
http://www.bmi.bund.de/EN/Topics/IT-Internet-Policy/Digital-Agenda/digital-agenda_node.html

xxviii) France Europe 2020
http://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/France-Europe_2020/18/3/AgendaStrategique02-07-2013-EnglishLight_262183.pdf

の刷新、③技術研究の促進、④デジタル教育とインフラの充実、⑤イノベーションと技術移転の推進、⑥科学文化の涵養、⑦ファンディングプログラムの最適化、⑧研究主体の連携強化、⑨フランスのプレゼンス向上を九つの戦略領域として挙げている^{xxix)}。上記①社会的課題への取り組みとして、九つの社会的挑戦（合理的な資源管理と気候変動への対応、クリーン・安全・効率的エネルギー、製造業の復興、健康と福祉、食の安全と人口問題、持続的なモビリティと都市、情報通信社会、イノベティブで適応力ある統合社会、宇宙利用）を挙げている。特に情報通信社会に向け、ビッグデータ、サイバーセキュリティ、IoT、インテンシブコンピューティング、ロボティクスが戦略的重要性を持つとしている。また、上記④デジタル教育とインフラの充実のなかで、シミュレーションやビッグデータマイニングは、科学技術研究・イノベーション・競争力にとって重要なキー技術であるとし、研究用 e-インフラの強化、研究データのためのクラウド開発が不可欠としている。

(4) 中国

【概観】

バイドゥの検索エンジン、アリババの EC サービス、テンセントのチャットサービス、Microsoft のチャットボット「シャオアイス」など、盛んな研究開発投資と巨大データ集積による AI 実用化能力は脅威である。人材についても海外で経験を積んだ研究者の帰国や招聘により国際化と研究水準の向上が図られている。バイドゥは米国シリコンバレーに Institute of Deep Learning を設立している。

社会課題にソリューションを与える社会基盤を構築する物聯網を政府が支援しており、センサー、MEMS デバイスなどのほか、通信事業者によるクラウドへの投資が加速している。アリババが事業戦略の重要要素の一つにクラウドコンピューティング技術の強化を挙げている。また、IMT-2020 という 5G Promotion group が 2013 年 2 月に設立されるなど、物聯網の推進に向けた活動が活発化している。モデル都市を選定して技術開発、新サービス創出、ビジネスモデル育成を含むプロジェクトを政府が数多く推進している。

機械学習については清華大、MSRA（マイクロソフト・リサーチ・アジア）などを中心に国際学会でのプレゼンスが高く、国際会議の採択数でも中国は米国に次いで 2 位である。大規模画像認識の競技会 ILSVRC2015 で MSRA が多部門でトップ成績、ILSVRC2016 ではトップが中国公安部第三研究所、3 位が香港中文大学であった。

セキュリティの領域は、アリババやファーウェイなどの企業が標準化活動において存在感を高めはじめている。

【政策の動向】

2006 年からの 15 年間の科学技術政策の方針を示す国家中長期科学技術発展計画概要では、2020 年までに世界トップレベルの科学技術力を持つイノベーション型国家とすることを目標に掲げている。目標達成に必要な、経済社会の発展、国防にとっての重要分野を特定し、比較的短期間で技術的に解決できる可能性の高い項目を優先テーマに設定

xxix) 海外主要国の科学技術イノベーション政策

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu22/siryo/_icsFiles/afieldfile/2014/08/08/1350746_2_1.pdf

している。情報産業および近代的なサービス業が重要分野の一つとなっており、優先テーマは次の通りである^{xxx),xxxii)}。

- ①近代的なサービス業の情報支援技術および大型応用ソフト
- ②次世代のネットワークのコア技術およびサービス
- ③高効率で信頼性の高いコンピューター
- ④センサーネットワークおよびインテリジェント情報処理
- ⑤デジタルメディア・プラットフォーム
- ⑥高解像度の大スクリーン薄型ディスプレイ
- ⑦重要システム向けの情報安全

また、2006-2020 年国家情報化発展戦略^{xxxiii)} では次の項目を 2020 年までの戦略目標として掲げている。

- ①総合情報インフラの基本的普及を目指す
- ②情報技術の独自開発能力を大きく向上させる
- ③情報産業の構造を全体的に改善する
- ④情報セキュリティ保護のレベルを大幅に向上させる
- ⑤国民の経済や社会の情報化で顕著な成果を目指す
- ⑥新しい形の工業発展モデルの基本的確立を目指す
- ⑦情報化の推進に向けた国の制度・環境・政策の基本的整備を目指す
- ⑧国民の情報技術の応用能力を大きく引き上げる
- ⑨情報社会への移行の基礎づくりをする

さらに、国全体の方針を示す国民経済・社会発展第 13 次 5 カ年計画（2016 年～ 2020 年）では、経済発展、イノベーション、民生福祉、資源環境の四分野で具体的な指標が設けられた^{xxxiii)}。これらの目標を達成するための具体的取り組みとして、同計画では、革新、改革についての編が最も重要なものと位置づけられている。また、インターネット経済、インフラ整備についての編が新たに追加されたほか、国民全体の教育と健康の向上が独立の編となった。また、5 年間に実施が予定される 10 分野（科学技術、農業水利、環境保護、設備製造、都市農村発展、交通、エネルギー、文化・教育、人材、医療・衛生）の百大プロジェクトが明らかにされている。

システム・情報科学技術に深く関連するものとして、革新の編において、大衆革新、万人企業のさらなる推進のための、プラットフォーム構築、クラウドイノベーションなどが掲げられている。また、百大プロジェクトとして、量子通信・量子コンピューター、国家インターネット空間の安全、スマートグリッド、ビッグデータ、スマート製造・ロボットなどの科学技術プロジェクト、ブロードバンド、IoT の実用化、クラウドコンピューティング、インターネット＋融合分野、ビッグデータの応用、国家政務の情報化、電子商取引、

xxx) 国家中長期科学技術発展計画
http://www.spc.jst.go.jp/policy/science_policy/chapt3/3_01/3_1_1/3_1_1_1.html
xxxii) 科学技術・イノベーション動向報告 ～中国・台湾編～
<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2008/OR/CRDS-FY2008-OR-10.pdf>
xxxiii) 中国、情報化へ向け今後 15 年間の戦略決定
<http://japanese.china.org.cn/japanese/236539.htm>
「第 13 次 5 カ年計画」が採決 ～改革と革新が鍵～
https://reports.btmuc.com/File/pdf_file/info002/info002_20160411_001.pdf

サイバー空間の安全保障が掲げられている。その他、交通、エネルギー、新型都市化などの分野にも関連の深いプロジェクトがある。

また、国务院の科学技術部が第 13 次国家科学技術イノベーション計画を公表しており、知識集約型サービス業の GDP における割合を 20% に引き上げるなど 12 項目の指標を設定した^{xxxiv)}。

科学技術部のほかに、工業・情報化部、発展・改革委員会、財政部が共同でロボット産業発展計画を発表した。同計画では、中国のロボット産業の迅速かつ健全で持続可能な成長を掲げており、5 項目の主要任務と 6 項目の政策措置を掲げている^{xxxv),xxxvi)}。

その他、高効率で持続可能な製造業への転換や需要に応じて迅速で柔軟性の高い生産の実現を目指す「中国製造 2050」、インターネットと既存産業を結合し、新たなビジネス分野の開拓を目指す「互聯網+ (インターネット+) 行動計画」^{xxxvii)} が 2015 年に発表されている。

(5) 韓国

【概観】

サムスン電子、LG 電子、SK ハイニックスなど少数企業が研究開発や市場化をけん引している。そうした産業と密接に結びついた分野では海外で経験を積んだ研究者の招聘などにより研究活動が活発化して国際化も進んでいる。

CPS/IoT の領域では、産官学連携 5G Forum が 2013 年 5 月に設立され、Creative Mobile 戦略において、世界で最も早期の 5G の実用化を目指しているほか、EU との 5G、周波数政策に関する共同宣言を 2014 年に採択した。モノのインターネット (IoT) 基本計画 (2014 年)、モノのインターネット拡散計画 (2015 年) が発表され、IoT プラットフォーム開発、ベンチャーの育成、技術開発促進のほか、2017 年までに製造、ヘルスケア / 医療、エネルギー、ホーム、自動車 / 交通、都市 / 安全の 6 分野で IoT 事業化を支援するなど強化を図っている。

画像・映像圧縮やコンピュータビジョン等では、国際的な成果が上がっているほか、ヒューマンインターフェースに関係する研究が活発である。BORA というコンソーシアムで音声・言語資源等を共有し、大学や国研での基礎研究も活発であり、音声対話機能を備えた情報家電などとして産業化もされている。また、大規模言語処理による情報分析のカカオ社などベンチャー企業の創業が増えている。トップカンファレンスである CHI をアジアで初めて 2015 年に招聘した。

国家的なセキュリティーインシデントを多数経験し、政府主導のセキュリティー対策を実践している。セキュリティー機器の国産化率は 100% といわれている。

xxxiv) 中国、「中国科学技術イノベーション第 13 次五カ年計画」を発表

<http://crds.jst.go.jp/dw/20161004/201610049475/>

xxxv) 中国第 13 次 5 年計画に「ロボット産業発展計画」が盛り込まれる

<http://it.impressbm.co.jp/articles/-/13533>

xxxvi) MIZUHO CHINA MONTHLY 2016 年 6 月号

<https://www.mizuhobank.co.jp/corporate/world/info/cndb/economics/monthly/pdf/R512-0081-XF-0105.pdf>

xxxvii) 中国電信「インターネットプラス」行動白書を発表

https://www.spc.jst.go.jp/news/150502/topic_5_06.html

【政策の動向】

国民の創造的なアイデアが、科学技術・ICT と結び付き、創業、新産業、新市場開拓につながり、質の高い雇用を生み出す「創造経済システム」を醸成する計画として「創造経済実現計画^{xxxviii)}」が 2013 年 6 月に国務会議において決定されている。創造経済実現計画では「創造経済を通じて国民の幸福と希望に満ちた新時代を実現する」というビジョンの下、次の六つの戦略を掲げている。

- ①起業しやすい環境づくり
- ②ベンチャー・中小企業支援
- ③成長動力の創出
- ④グローバル創意人材養成
- ⑤科学技術と ICT のイノベーション革新力強化
- ⑥創造経済文化の醸成

さらに、この計画の下、科学・ICT と既存産業を融合させ、対象産業の高度化と問題解決を支援する全省庁による「創造経済ビタミンプロジェクト」が打ち出され、その詳細実施計画に当たる「創造経済ビタミンプロジェクト推進計画」においては重点 7 分野（農水畜産物、文化観光、保健医療、主力製造業、教育学習、中小企業・創業支援、災害安全 SoC（System on a Chip））が設定された。2014 年には超連結社会を築く韓国をビジョンとした「情報通信振興及び融合活性化基本計画（ICT 基本計画）」が決定され、対象がエネルギー・交通・環境等にも拡大している^{xxxix)}。

こうした創造経済システムを実現していく上で中核となる行政機関として 2013 年 3 月に未来創造科学部が新設されている。さらに同年 7 月の臨時国会において「情報通信の振興及び融合の活性化に関する特別法案（ICT 特別法案）」が可決された。この特別法では、ICT の活用を阻害する規制の緩和、ICT 政策に関する基本計画の 3 年ごとの策定・実施、国務総理の所轄の下に ICT 政策の統合調整機能を担う「情報通信戦略委員会」（未来創造科学部長官が幹事）を設置、未来創造科学部によるソフトウェア産業およびデジタルコンテンツ産業の振興や ICT を活用した新しい技術・サービス等への支援、などが掲げられている。

また、2013 年 12 月には 2017 年までの国家情報化戦略として「国民の幸福のためのデジタル創造韓国の実現」を目標に掲げた第 5 次国家情報化基本計画を発表した。目標実現に向けた四大戦略として次の「CORE」を提示している。

- ①情報化を通じた創造経済のけん引（Creative Economy）
- ②国家社会の創意的情報通信技術の活用（Optimized Society via ICT）
- ③国民の想像力強化（Renewed Human Capacity）
- ④デジタル創造韓国のインフラ高度化（Enhanced ICT Infrastructure）

一方、科学技術・イノベーション政策の主軸となる「第 3 次科学技術基本計画（2013 年～2017 年）」では創造経済の実現に向け、科学技術と ICT の融合による新産業創出、国

xxxviii) 科学技術・イノベーション動向報告 韓国編 ～2013 年度版～
<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/OR/CRDS-FY2013-OR-03.pdf>

xxxix) 情報通信白書平成 26 年版
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/html/nc25b140.html>

民の生活の質向上等のための具体策として次の五つの戦略分野を高度化する「High5」を掲げている^{xi)}。

（High1）国の研究開発投資の拡大と効率化

（High2）国家戦略技術の開発

（High3）中長期的な創意力の強化

（High4）新産業創出支援

（High5）科学技術基盤の雇用創出

「High2 国家戦略技術の開発」では研究開発投資すべき 5 大推進分野として、

① IT 融合新産業の創出

② 未来成長動力の拡充

③ クリーンで便利な生活環境の構築

④ 健康長寿時代の実現

⑤ 安全・安心な社会の構築

が挙げられている。また、これらの 5 分野における 20 の推進課題を活用するための 30 の重点国家戦略技術として、知識情報セキュリティ技術、知識基盤ビッグデータ活用技術、次世代有無線ネットワーク技術（5G など）、融合サービスプラットフォーム技術、知能型インタラクティブ技術、スマートグリッド技術、健康管理サービス技術、自然災害モニタリング・予測・対応技術などが挙げられており、いずれの推進分野においても情報科学技術が重要な役割を果たすものとして位置づけられている。

「High5 科学技術基盤の雇用創出」では、創造経済を支えるものとして、ロボット、情報セキュリティ、ビッグデータ、認知脳科学、老人医療、医工学、文化コンテンツといった新産業分野における専門家・職業群の育成に取り組もうとしている。

2016 年には、未来創造科学部より知能情報産業発展戦略が発表され、大企業 6 社（サムスン電子、LG 電子、現代自動車、SK テレコム、KT、NAVER）が知的情報技術研究所を設立し、政府は 5 年間で 1 兆ウォンを投資することを明らかにした。

なお、創造経済の実現というコンセプトは朴槿恵大統領の政権で打ち出されたものであり、2017 年 1 月現在の政権がおかれている状況を考えると今後の動向に注視が必要である。

xi) 研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略（2014 年）
<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/FR/CRDS-FY2013-FR-07.pdf>

2.4 分野の今後の展開と日本の研究開発の方向性

システム・情報科学技術は、システム・情報科学技術自体を指数関数的に進化させながら、経済、社会、環境、人間、文化、科学など多様な分野に影響を与える。インターネットにあらゆるモノがつながれ、さまざまなデータや情報をやり取りし、効率化や新たな付加価値の創造を行う。こうしてサイバーとリアルの社会の融合が進むにつれ、世の中のあらゆる場面にシステム・情報科学技術が深く関係するようになる。個人の生活から企業の活動、公共サービスなども大きな変革を遂げる可能性がある。その場合、個別最適が必ずしも全体最適にはつながらないし、科学技術だけではなく、法制度との連携も重要になる。したがって、わが国の現状を踏まえ、将来のビジョンを持った上でシステム・情報科学技術分野の研究開発の方向性を定め、新しい技術の社会適用の方策、社会変革の仕組み、社会経済的インパクトなどについても考慮が必要である。以下では、研究開発の今後の方向性および上記項目についての考察を述べる。

2.4.1 今後の方向性

まず、科学技術と関係の深い政治・経済・社会・人間心理などについて、世界のトレンド、日本のトレンドを把握した。一般的な傾向に加えて、国連で採択された持続可能な開発目標（SDGs）なども参考にした。また、システム・情報科学技術自体のトレンドもシステム化、ソフトウェア化、さらに AI や IoT などの進展といった流れに注目した。技術や社会・経済のトレンドを的確に捉えた上で、第 5 期科学技術基本計画で掲げられている Society 5.0、超スマート社会のビジョン実現に向けて、当分野が果たすべき役割（ミッション）および、その役割を果たすために達成しなければならない具体的な目標を定めた。戦略レイヤーは、目標を達成するための研究開発領域である。

(1) 知のコンピューティング

知のコンピューティングとは、知の創造を促進し科学的発見やその社会適用を加速するなど「知の活用の変革」を推進することである。知のコンピューティングにより、人々のくらしや社会システムの質的変革が促され、人と機械が共創した、より高度な知的社会が実現される。知のコンピューティングの研究開発により次のような効果が得られることを期待する。

- ・ 知の発見と伝播・活用を促進し、科学の発展と社会への浸透と富の再配分を加速
- ・ 最先端知識や技術の社会的適用の促進を図ることによる社会サービスの質の向上
- ・ 新しいソーシャルコンピューティングの開拓による発見の加速
- ・ 新しいコンピューティングパラダイムの開拓

知のコンピューティングを構成する研究開発領域を図 2-10 に俯瞰する。上段の 3 領域、①知の集積・増幅・探索、②予測・発見の促進、③知のアクチュエーションは、知のコンピューティングの最終的な目的となる領域を示す。④知のプラットフォームは、集積した知、生み出された価値を社会に還元して、共有・普及・促進を加速しやすくするためのエ

コシステムである。⑤ ELSI と社会適用は、知の集積・増幅・伝播・検索・予測・発見・アクションを可能にする倫理的・法的・社会問題の整備とガイドライン設計に関わる領域である。また、下段の 3 領域、⑥人文・社会科学に学ぶ、⑦生命科学に学ぶ、⑧情報科学に学ぶは、基盤レイヤーに含まれる学術分野を知のコンピューティングの文脈で整理整頓したものである。本報告書では基盤レイヤーは記述しないため、その中より特に進展の目覚ましい三つの研究開発領域として、認知科学、脳情報システム、知的インタラクションを取り上げてここに記述した。

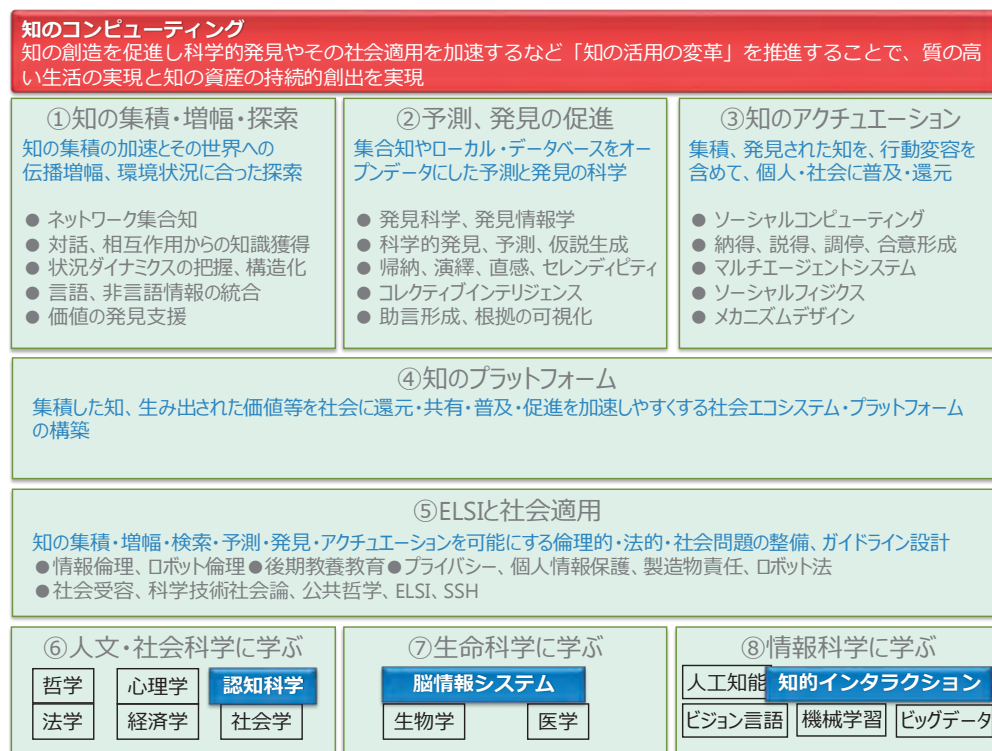


図 2-10 知のコンピューティングの俯瞰図

知のコンピューティングは 2013 年に研究開発戦略センターが Wisdom Computing Summit にて提唱した新しい研究領域である。知のコンピューティングで扱う「知」とは何かについてはさまざまな観点でさまざまな議論があろう。情報が「心のはたらきや心理状態に変化を与えるもの」ⁱ⁾であるとする、広義には「情報」に含まれる。ここでは、「知」とは、そのうち、「人間や集団の意思決定に影響を与えるもの」と考えることにする。DIKW (Data-Information-Knowledge-Wisdom) モデルⁱⁱ⁾では、データ、情報、知識を階層的に定義しているが、「知」や「情報」は表現形にはならず、それらと変化を与えられる対象との相互作用によって認識されるものである。したがって、データから情報を抽出し、さらに新たな知見を知識として抽出するビッグデータや人工知能をはじめとする、表現形に関する既存の研究領域に強く依存する。知のコンピューティングは、その上で、人々の意思決定によりよい影響を与えるために、「知」をコンピューティング可能なもの

i) 安西祐一郎、心と脳—認知科学入門、p32、2011

ii) Curt Swindoll, "Redefining Fundraising - Data", 2011, <http://www.pursuant.com/blog/redefining-fundraising-data/>

として定式化することを狙う。

第5期科学技術基本計画においては、特に、知の基盤強化の全般に資する研究領域と位置付けることができる。ビジョン、ミッション、目標との具体的な関わりについては、例えば、目標「多様なニーズとシーズの適切なマッチングを実現するビジネス基盤システムの構築」においては、ニーズとシーズのマッチングシステムを実現する際にキーとなる、合意形成、メカニズムデザインの技術を提供する。また、目標「人間行動の理解と適切な介入の仕方、労働のモジュール化と参加を促進するプラットフォームの構築」においては、ITの社会受容に関する研究と新たな制度設計の考え方を、更に、目標「知識/情報/データベース化と統合利活用」においては、まさに集積した知、生み出された価値等を社会に還元・共有・普及・促進を加速しやすくするための知のエコシステム・プラットフォームの構築を可能にする。

知のコンピューティング特有の「知」の定式化に関しては、新しい研究領域であり、現時点ではわが国の国際的な競争力を判断することは不可能である。しかしながら、上述したように基盤となる研究領域においては、例えば、大規模データ処理解析基盤、言語の深い意味理解、映像による意図理解、仮説生成と発見科学、合意形成とメカニズムデザイン、脳情報システム、ヒューマンロボットインタラクション、ネットワークロボットなど日本の強みといえるものも多い。

以上を鑑みてわが国が取り組むべき重要な研究テーマとして、集団の意思決定と行動変容を促進するための合意形成・メカニズムデザインの研究、人間同士や人間と機械の相互作用に関わるインタラクションの研究、および、それらのためのプラットフォームとして、蓄積・発見された「知」の共有・相互利用のメカニズム構築に向けた研究、さらに、それらの恩恵を人々が容易に受け入れると同時に負のインパクトを最小にするための ELSI と社会受容の研究が挙げられる。

(2) CPS/IoT/REALITY 2.0

CPS/IoT/REALITY 2.0 は、社会にあるモノ、ヒト、コトをサイバー空間を通じて利用可能とし、それらを組み合わせることで、新たなサービスや社会システムの構築を可能とする研究開発である。これにより新たなビジネス創出や持続可能な社会の構築に貢献する。

CPS/IoT は、物理世界のモノをセンシングし、そこから得られるデータを集約、分析し、その結果を基に物理的なモノやそれが含まれるシステムの最適化を行う技術である。

こうした技術の高度化と社会への普及が進展することで、サイバー空間と物理世界が一体となった世界が生まれると考えられる。CRDS ではこの世界を REALITY 2.0 と呼ぶ。

本区分では、研究開発や社会への適用が進められている CPS/IoT の研究を俯瞰するとともに、将来訪れるであろう REALITY 2.0 に向けて必要となる研究開発領域を以下のとおりまとめた。

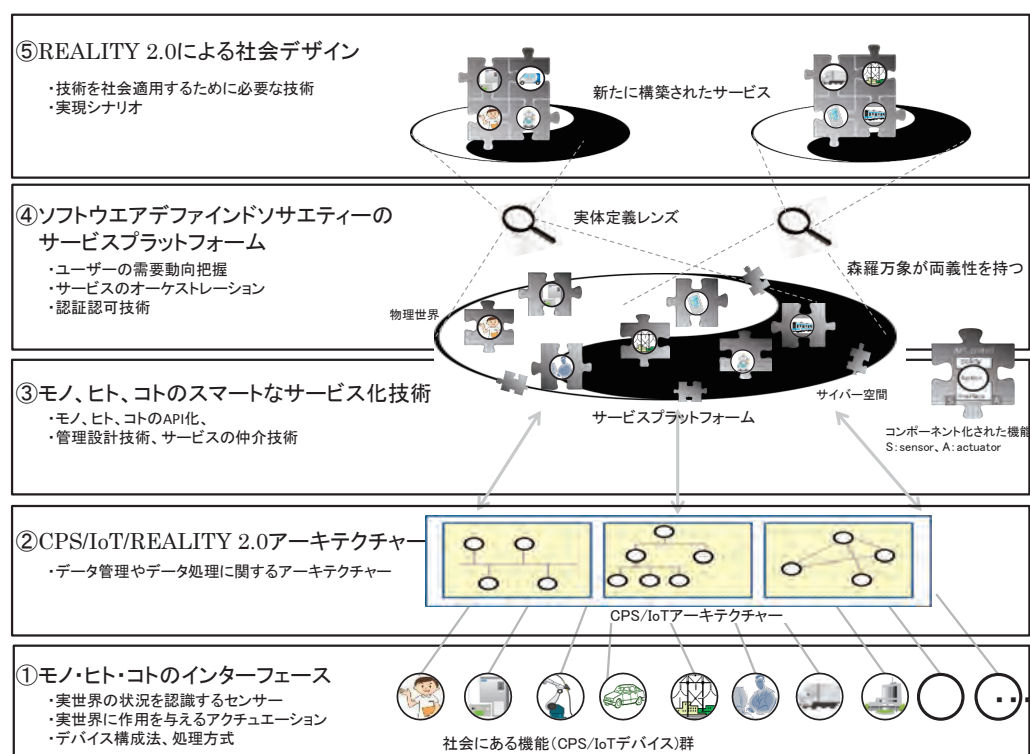


図 2-11 CPS/IoT/REALITY 2.0 の俯瞰図

① モノ・ヒト・コトのインターフェース

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

② CPS/IoT/REALITY 2.0 アーキテクチャー

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

③ モノ・ヒト・コトのスマートなサービス化技術

ここではある機能をほかの機能や実体から呼び出せるようにすることを「サービス化」と呼ぶ。情報システムが提供するサービスに加えて、モノ、ヒト、コトなど物理世界や社会活動全体をサービスとして提供、利用可能とするための技術の確立とそれを支援する基盤構築を目指している。REALITY 2.0 実現に向けて、Web サービスにおけるサービス構築技術等を物理世界に適用していく事が一つの方法と考えられる。

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

④ ソフトウェアデファインドソサエティのサービスプラットフォーム

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

必要な機能の検索・発見や、価値の再配分、認証認可技術やサービスのレベルを保証する技術、現在のクラウド等のサービスプラットフォームに物理的なモノやヒト等が入ってきた時に必要となる技術も含む。

⑤ REALITY 2.0 による社会デザイン

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

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

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

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

REALITY 2.0 では、CPS/IoT が対象としていた ICT によるモノ・ビジネスのサービス化から、ヒトやコトといった社会全体をサービスとして利用・提供可能となる世界が実現される。これによって、サプライチェーンの高度化や顧客情報の利活用による新たな価値の創出、透明性がありオープンなサービスプラットフォームの構築、労働のモジュール化と参加を促進するプラットフォームの構築等が可能となる。

この実現のためには、モノ、ヒト、コトなど社会全体をサービスとして利用・提供可能とするサービス化技術としてモノ、ヒト、コトの API 化や管理設計技術、サービスの仲介技術が重要となる。また、サービス化されたモノ、ヒト、コトにより社会システムを構築するためのサービスプラットフォーム構築技術として、ユーザーの需要動向把握、サービスのオーケストレーションや認証認可技術が重要となる。

(3) 社会システムデザイン

社会システムデザインとは、複雑化する社会システムの安定的な挙動のための設計、構成、監視、運用、制御、可視化、模擬および適切な制度設計により社会インフラの安寧化

の実現を目指すものである。社会システムの大規模化・複合化・複雑化が高度に進展する中、システムに IT を取り込んだ社会システムデザインの必要性が増してきていることから独立した俯瞰区分とした。

社会システムデザインを構成する研究開発領域を図 2-12 に示す。

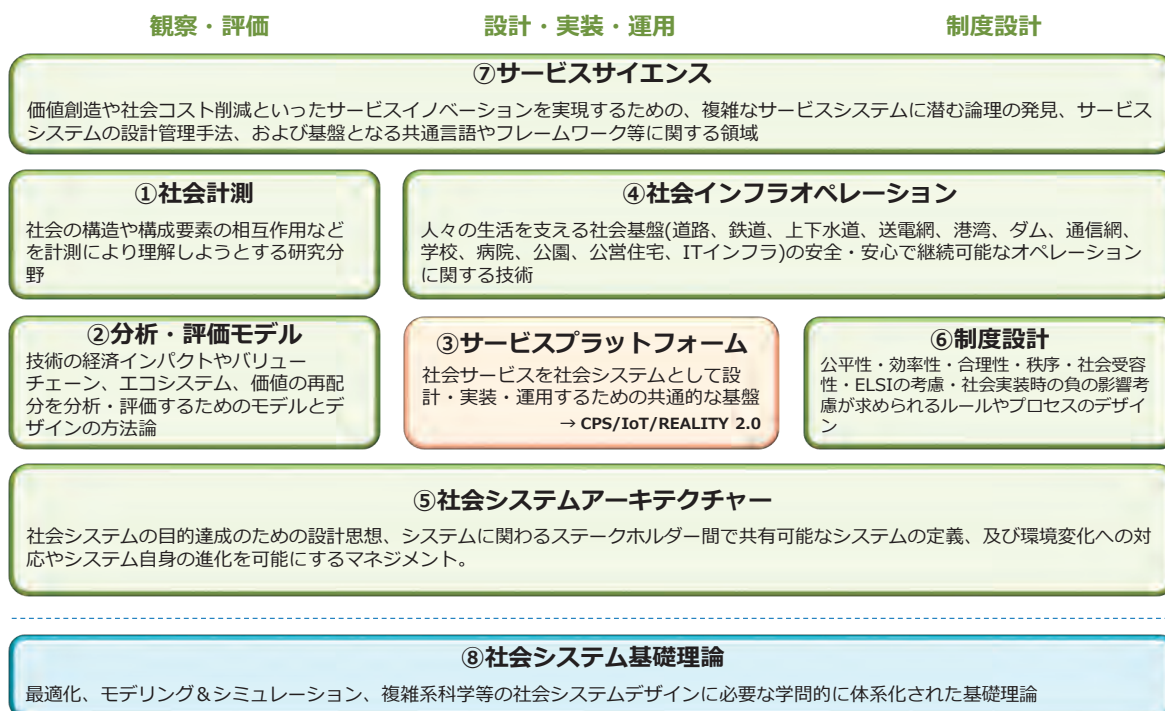


図 2-12 社会システムデザインの俯瞰図

- ① 社会計測
観察・評価、設計・実装・運用、制度設計の3面から研究開発領域を俯瞰している。社会の構造や構成要素の相互作用などを計測により理解しようとする研究開発領域。
- ② 分析評価モデル
技術の経済インパクトやバリューチェーン、エコシステム、価値の再配分を分析・評価するためのモデルとデザインの方法論。
- ③ サービスプラットフォーム
社会サービスを社会システムとして設計・実装・運用するためのサービスプラットフォーム。俯瞰区分「CPS/IoT/REALITY 2.0」における研究開発領域「ソフトウェアデファインドソサエティのサービスプラットフォーム」を参照されたい。
- ④ 社会インフラオペレーション
人々の生活を支える社会基盤（道路、鉄道、上下水道、送電網、港湾、ダム、通信網、学校、病院、公園、公営住宅、ITインフラ）の安全・安心で継続可能なオペレーションに関する技術の研究開発領域。
- ⑤ 社会システムアーキテクチャー
社会システムの目的達成のための設計思想、システムに関わるステークホルダー間で

共有可能なシステムの定義、および環境変化への対応やシステム自身の進化を可能にするマネジメントを含む研究開発領域。

⑥ 制度設計

公平性・効率性・合理性・秩序・社会受容性・ELSI の考慮・社会実装時の負の影響考慮が求められるルールやプロセスのデザインに関する研究開発領域。

⑦ サービスサイエンス

価値創造や社会コスト削減といったサービスイノベーションを実現するための、複雑なサービスシステムに潜む論理の発見、サービスシステムの設計管理手法、および基盤となる共通言語やフレームワーク等に関する分野の研究開発領域。

⑧ 社会システム基礎理論

基盤レイヤーの区分に含まれる、最適化、モデリング、シミュレーション、複雑系科学等の学問的に体系化された基礎理論も社会システムデザインに必要である。

ビジョン、ミッション、目標との関わりにおいて、目標「社会のスマート化による効率化、省エネルギー化」を実現するためには、④の社会インフラの安全・安心で継続可能なオペレーションに関する技術が必要である。また、目標「人間行動の理解と適切な介入の仕方、労働のモジュール化と参加を促進するプラットフォームの構築」および「多様性・個性に対応した質の高い教育・再教育・学習の提供」の実現のためには、⑥の公平性・効率性・合理性・秩序・社会受容性・ELSI の考慮・社会実装時の負の影響考慮が求められるルールやプロセスのデザインが必要となる。

なお、各研究開発領域について本書においては報告せず、今後、「社会システムデザイン」について、研究開発の課題、制度上の課題を明らかにするために、過去の社会実装の実施例を評価する具体的なケーススタディーを行う予定である。その結果を取りまとめ、別途報告する予定である。

（4）ビッグデータ

ビッグデータの研究開発で目指すのは、膨大なデータの収集・解析、実世界現象の精緻でリアルタイムな把握・予測により、さまざまな社会課題を解決し、安全・安心で生産性の高い社会を実現することである。人間の手に負えない大規模複雑な社会課題が深刻化しており、その解決手段としてビッグデータに大きな期待が寄せられている。

これを支える技術は、ビッグデータの収集・蓄積→分析→活用という流れに沿った基礎技術、活用基盤、重点応用、制度設計という塊で捉え、以下の八つの研究開発領域を設定した（図 2-13）。

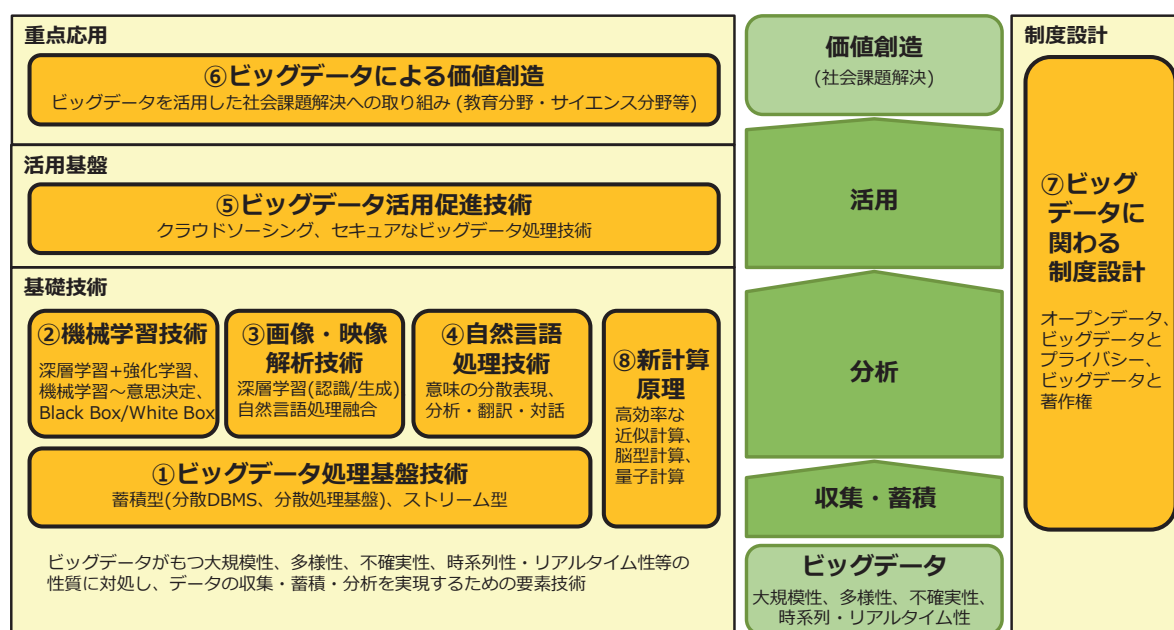


図 2-13 ビッグデータの俯瞰図

① ビッグデータ処理基盤技術

大量の計算機あるいはハイエンド計算機を活用し、ビッグデータを高速・高効率に処理するソフトウェア技術である。大規模性、多様性、不確実性、時系列性・リアルタイム性を備えたビッグデータを扱うさまざまな応用で、共通的に必要とされる。

② 機械学習技術

データの背後に潜む規則性や特異性を発見することにより、人間と同程度あるいはそれ以上の学習能力をコンピューターで実現しようとする技術である。事象や対象物についてその観測データに基づく判別・分類、予測、異常検知等が可能になる。

③ 画像・映像解析技術

カメラ等で撮影された画像や映像をコンピューターで解析して、その画像・映像の内容、つまり、そこに写っているもの（人や物体、文字等）の位置・カテゴリあるいは風景・場所・状況等を認識する技術である。

④ 自然言語処理技術

コンピューターで自然言語（人間が日常の意思疎通のために用いる自然発生的な記号体系）を処理する技術である。自然言語で表現された大量テキスト情報の活用促進・支援や、自然言語によるコミュニケーションの促進・支援に活用される。

⑤ ビッグデータ活用促進技術

ビッグデータの基礎技術である①～④以外に、ビッグデータをさまざまな課題解決（価値創造）に活用していく上で共通的に必要になる技術である。特にクラウドソーシングとセキュアなビッグデータ処理技術が重要である。

⑥ ビッグデータによる価値創造

ビッグデータに基づく実世界現象の精緻でリアルタイムな把握・予測による課題解決、安全・安心で生産性の高い社会に向けた価値創造のための技術である。特に、科学技

術政策の面から、教育やサイエンスにおけるビッグデータ活用に着目する必要がある。

⑦ ビッグデータに関わる制度設計

ビッグデータの流通・活用を支える仕組み・制度を取り上げる。特に、最小限の制約のみで誰でも自由に利用・加工・再配布ができるオープンデータと、データに関わる権利確保の面からプライバシー保護と著作権に注意が必要である。

⑧ 新計算原理

実世界に大規模分散するビッグデータを低消費電力で高速・高効率に処理する技術である。①の発展形にとどまらず、②～④のアルゴリズムの進化と密に関わる基本計算原理への取り組みであり、高効率な近似計算・脳型計算・量子計算等を含む。

このような研究開発によって、ビッグデータから危険・変動等の予兆を察知したり、エネルギー・商品等の需要を予測したり、状況や嗜好に適応した最適なアクションプランを生成することが可能になり、人間の手には負えなくなりつつある大規模・複雑な社会課題の解決、そして、前述のミッション・目標の達成に貢献する。

北米の巨大 IT 企業が勢いを持っている分野であるが、日本としては、実社会・実世界の課題解決（ソリューション）にフォーカスした技術開発が重要である。そのために、ターゲットとする社会課題領域で迅速かつシャープに性能を出す人工知能技術（機械学習、画像・映像解析、自然言語処理等）をいっそう強化すべきである。タスク特化の画像認識で世界トップ性能を出してきた画像認識技術、ロボット制御等で先行する深層強化学習技術・転移学習技術、機械学習に基づく意思決定問題の解法等、日本が保有する強みを足がかりに世界に通用する技術の育成・確立を期待する。

また、実社会・実世界に大規模分散するビッグデータを低消費電力で高速・高効率に扱える計算基盤も重要である。既存路線の単純延長には限界があり、新計算原理を見据えた取り組みを期待する。

反面、時代変化に即した制度設計の面で対応が遅れ気味であることや、世界的な人材競争戦における競争力等に、日本としての課題がある。

(5) ロボティクス

ロボティクスは、高い自律性を持つ機械や機械と人間の緊密な相互作用を実現することで、安全・安心で質の高い生活をもたらす新たな社会システムの形成に貢献する研究開発領域からなる俯瞰区分である。IT との融合により、ロボットの自律化による適用領域の拡大、ネットワーク化やシステム化による多様なサービスへの組み込みが進みつつあり、今回戦略レイヤーにおいて取り上げることとした。

本俯瞰区分では、1) 社会インフラ、モビリティ、生活支援、医療、製造などの応用領域からみたニーズとニーズに応えるための技術群とその発展の方向性を明確化すること、2) ロボティクスに革新的変化をもたらさうな新興領域を明確化すること、3) 技術の発展、社会における利活用促進、産業競争力の強化の観点での重要性、の三つの観点から、以下の九つの研究開発領域を採り上げた。

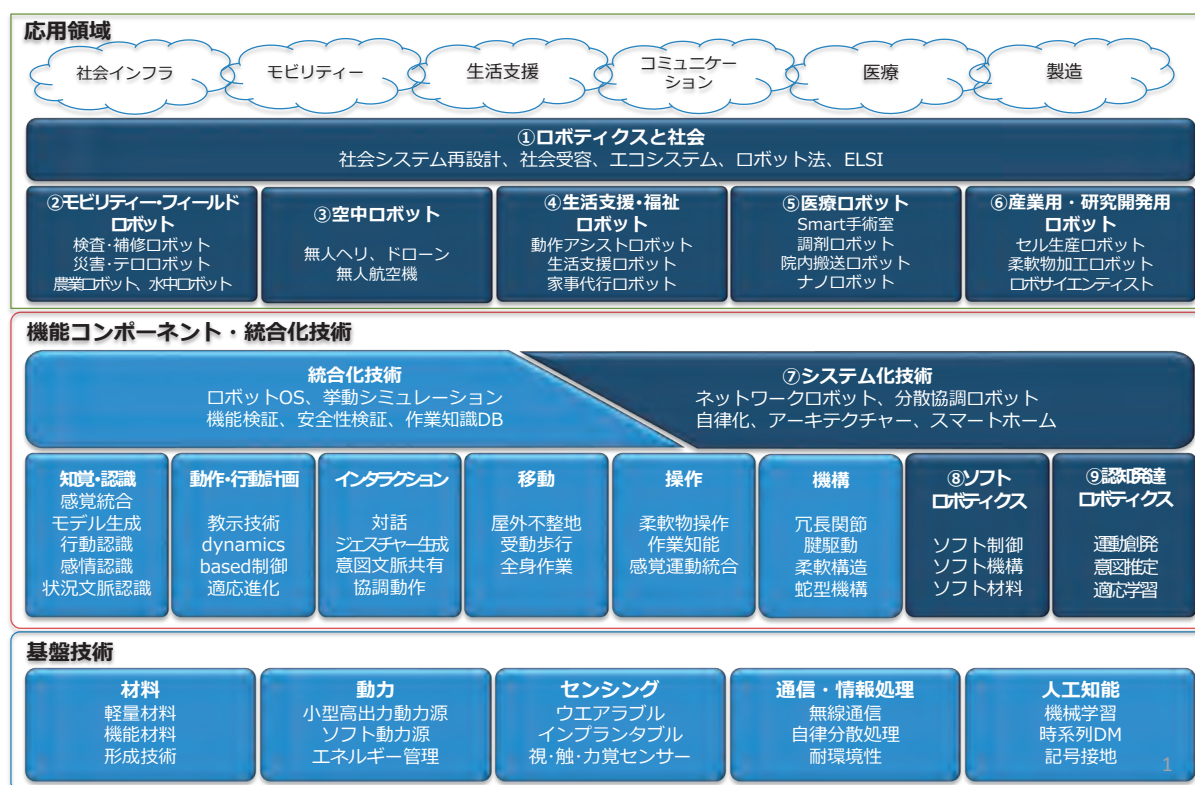


図 2-14 ロボティクスの俯瞰図

① ロボティクスと社会

ロボティクスの要素技術が一定レベルで整いつつあるなかでシステム技術の進展を加速する仕組み、社会への導入に伴うリスクを軽減するとともに便益を最大化するための制度設計、社会への浸透を加速するためのビジネスとしてのサイクルを実現するエコシステム構築を含む社会受容の促進など、ロボティクスによる単なる既存機能の置き換えではない社会システムの再設計に係わる研究開発領域である。

② モビリティ・フィールドロボット

重要な機能として移動機能を備え、目的となるフィールドで作業を行うロボットの実現と利活用を目指す研究開発領域である。その適用領域は、農業、インフラ検査・保守、災害調査・レスキューにわたり、稼働するフィールドも陸上だけでなく、海中、空中などの拡がりがある。ここでは、陸上と海中で稼働するロボットを扱い、空中で稼働するロボットは別途、空中ロボットの研究開発領域で扱う。

③ 空中ロボット

人の操縦ではなくコンピューターで制御された自律的飛行が可能な飛行ロボットであり、小型無人航空機、UAV (Unmanned Aerial Vehicle)、UAS (Unmanned Aerial System)、ドローンとも呼ばれている。センサー、マイクロプロセッサ等が超小型化・MEMS 化され高性能化された恩恵を受けて、数百グラムから数キログラム程度の小型で電動型の自律飛行可能なマルチロータヘリコプタが約 10 年前に誕生した。空中ロボットはホビー用から産業用まで幅広く、空の産業革命をもたらすといわれている。

④ 生活支援・福祉ロボット

ロボティクスの生活支援や福祉への活用であり、動作支援や見守りなど、日常生活に密着して人と深く関わり合う。特に、生活全般にわたって介護が必要な重介護の支援が、まずは重要なターゲットであり、支援が必要な主な活動として食事、排せつ、入浴・着替え、移動の四つが挙げられる。こうした活動の支援の方法自体の研究とロボット活用を目指す研究開発領域である。

⑤ 医療ロボット

ロボティクスの医療への活用であり、既にさまざまな応用事例が存在し、かつ将来的により広範な先進的応用が期待される研究開発領域である。応用展開は多岐に及ぶが、ここでは、ある一定の動作を伴う、医療支援を目的とするロボットを医療ロボットと位置づける。特に注目すべきは、機構・制御・センサー技術を統合した医療ロボットによる治療・診断・分析の統合により、従来には得られなかった医療効果向上を目指す研究開発である。

⑥ 産業用・研究開発用ロボット

重工業や電子製品製造などの特定の作業に利用されてきた産業用ロボットの利用領域を食品、服飾、農林水産、サービス、医療・介護等の分野へ拡大するための基盤技術の確立、および、効率的に高い精度の作業を行うという特長を活かした先進的な取り組みが進みつつある研究開発現場で利用される研究開発ロボットの実現と利用拡大を目指す研究開発が進んでいる。

⑦ システム化技術

ロボットは、認識、判断、計画、動作の各知的処理要素の統合、機構、センサー、アクチュエーター、電子回路、コンピューター、電源、配線、外装、ソフトウェアの各構成要素の統合、さらには、移動、マニピュレーション、対話、ユーザーインターフェース等の機能の統合により構成されることから、ロボティクスはシステム化の技術といえる。特に、より自律的な処理、より広範囲な状況の変化に応じた処理を可能とする知能化と各要素や部位を集積・統合する基盤となるプラットフォーム技術の研究開発が進んでいる。

⑧ ソフトロボティクス

ロボットシステムにおける物理的な柔軟性（ソフトネス）を取り扱うロボティクスの分野で、近年急速に発展し注目を集めている。主要な研究テーマとして、柔軟性を積極的に利用した新しいロボットの開発、柔軟物体のモデル化や制御、生物システムにおける柔軟性の機能の解明などが挙げられる。ロボットへの接触安全性の付加、高分子材料によるロボットの安価な製造の実現などにより、ロボットの応用拡大への貢献が期待されている。

⑨ 認知発達ロボティクス

ロボットの知的機能を、従来のように直接プログラミングや単機能学習で実現するのではなく、人間の認知発達と同様に自律的に累積的に獲得させることで、より柔軟・汎用かつ高度にすることを目指す。このために、認知科学や神経科学等の知見も統合しつつ、シミュレーションやロボットなどの人工システムにより人間と同等な認知発達過程を再構成することで、その仕組みの新たな理解や洞察を得ると同時に、発達する人工システムの設計論を得る、構成論的アプローチと呼ばれる研究手法をとっている。人間の認知に関する統合システム論的理解を提示する科学的価値と、現状の人工知能技術を越え、人間により近い知能を実現する工学的価値の両面が期待される。

ロボティクスは、物理世界とのインタラクションに不可欠であり、社会のスマート化による効率化、省エネルギー化、人間行動の理解と適切な介入、人間とロボットの協働を前提に労働のモジュール化と参加を促進するプラットフォームの構築といった前述の目標達成に貢献する。

近年、製造業の国内生産回帰、労働生産性の向上、ロボット活用領域の拡大を狙って、各国とも次の時代に求められるロボティクスの研究開発を強化している。具体的には、米国政府の Robotics Initiative における人と協働するロボットへの注目、Google、Amazon をはじめとする巨大 IT 企業やスタートアップなどの動きである。欧州でも欧州委員会の AAL（Ambient Assisted Living）、SPARC と呼ばれる官民連携などの取り組みがある。また、各国がしのぎを削って開発を進めている自動運転車もロボティクスの技術の結晶である。ロボットの本質は、センサーとアクチュエーターを知的に統合することであり、状況変化に応じて物理的な効果をもたらす全ての応用に適用可能なので、IoT による住環境制御なども含め、ロボットとは見えない場面においてもロボティクスの活用の拡大が見込まれる。

わが国は、重工業や電子製品製造など向けの産業用ロボットの開発・利用、ヒューマノイドの研究開発などけん引してきた。製造業向けロボットの利用領域拡大や人とのかかわる利用領域での安全性向上などに資するソフトロボティクス、IoT 社会において物理的機能と連携した多様なサービスを実現するためのシステム化技術が特に重要である。

（6）セキュリティ

さまざまな機器や装置、システム、データや情報などを利活用するための技術。現代社会は、ICT システムに深く依存するようになってきており、ICT システムの安全性の確保は非常に重要な課題になってきている。このような問題を解決するために必要となるのが、セキュリティである。セキュリティ技術においては、暗号技術などの基礎的個別要素技術もちろん重要ではあるが、ここでは応用領域や社会への適用に直接的に関連する七つの研究開発領域に注目する。

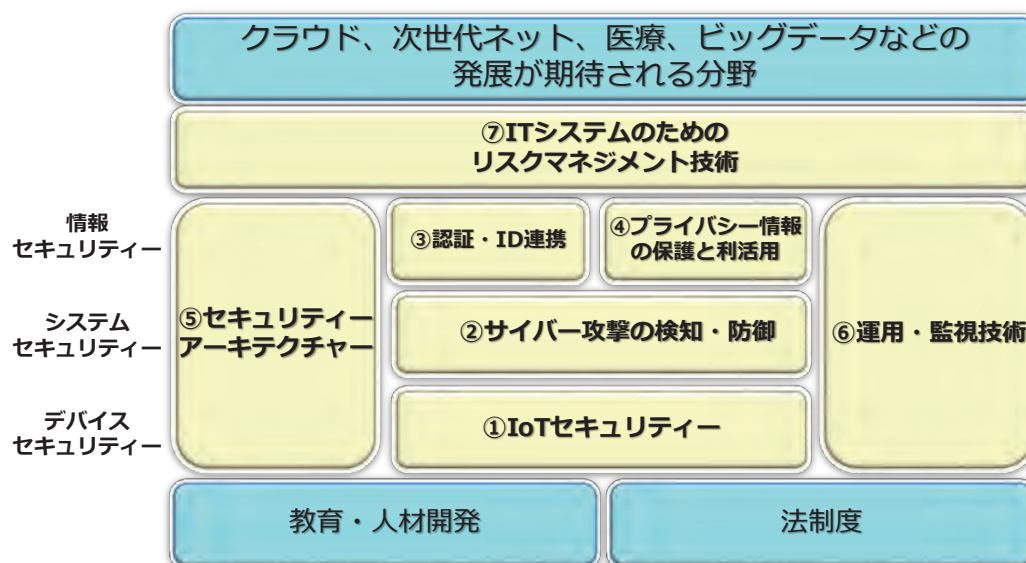


図 2-15 セキュリティの俯瞰図

① IoT セキュリティー

従来の情報機器だけではなく、家電や玩具、オフィス機器、自動車などのモノがネットワークに接続されつつある。これらのセキュリティー技術について、コンシューマー向けとインダストリー向けの2面性があり、ハードウェアとソフトウェアの両方に対する考慮、業界横断的な取り組みが必要である。

② サイバー攻撃の検知・防御

インターネットを経由したサイバー攻撃が日常的に行われるようになってきた。手口も巧妙になり、その動機も変化している。国家安全保障という意味でもサイバーセキュリティーが重要である。新たな攻撃に対抗するためには、実データに基づいた対策が必須であるが、それらデータの共有が進まないという問題がある。

③ 認証・ID 連携

さまざまなサービスを有機的に連携し、便利で付加価値の高い利用方法が望まれている。そこでは認証、認可、連携が重要になっている。ID、IC カード、生体情報などのさまざまな認証技術と、それらの安全な連携に関する活動があり、ビジネス現場における応用研究・開発が重要であり、実証のための仕組みが必要である。

④ プライバシー情報の保護と利活用

企業や政府、自治体、医療機関などが蓄積する個人情報を活用することは利用者にとっての利便性の向上、提供者の効率向上を実現する。そこでは、プライバシーの保護と利活用を両立する技術が重要になる。課題としては、利用者の同意を得る仕組み、データフォーマット、通信プロトコルの標準化、漏えいデータの失効などがある。

⑤ セキュリティーアーキテクチャー

セキュリティーバイデザインとも呼ばれ、製品やシステム、サービスの設計・開発段階からセキュリティーを作りこんでおこうと言う考えである。脅威の識別、リスク評価、対策の妥当性検証などが技術的課題となる。情報システムだけでなく、組み込み、制御システムなどへの対応が急務である。

⑥ 運用・監視技術

情報システムのセキュアな運用のためには、日々の運用における状況の監視、対策の更新が必要である。対象となるシステムも日々変化し、機器の更新による性能向上にも対応しなければならない。セキュリティーだけでなく、ソフトウェア工学、人工知能、ネットワークなどさまざまな分野の融合が必要である。

⑦ IT システムのためのリスクマネジメント技術

現代社会は IT システムに深く依存し、その安全性の確保は非常に重要である。個別の技術的対策の導入も重要ではあるが、それだけでは不十分であり、リスクマネジメントのためのフレームワーク、リスクアセスメント、リスクコミュニケーションなどのリスクマネジメントのための理論から実務までの体系化、そのための技術の高度化が必要である。

これらの研究開発領域のうち、特にデータに基づく危険予兆察知技術の研究開発、セキュアでレジリエントな情報システムの構築を通じて、セキュリティー技術が社会インフラの強靱化に貢献し、国および国民の安全・安心の確保につながることを期待される。

日本においては、暗号要素技術の論文発表や理論的な提案等は活発に行われている。また、顔認証、指紋認証など生体認証においても世界をリードしている。しかし、実システム、実データに基づくセキュリティ対策技術についてはまだ取組が不十分であり、実践的な取組の強化が必要である。特にこれらは国家安全保障にも関わる問題でもあり、技術の国産化が重要な課題となっている。

今後重要となる研究開発テーマとしては、上記で述べた実データ、実システムに基づくセキュリティ対策技術の国産化とともに、近年その広がりを見せる IoT に対応したセキュリティ技術の研究開発が挙げられる。これは、わが国の基幹産業であるモノづくりにおいても、セキュリティが重要になっていることとともに、モノとの関連において、従来のサイバーセキュリティとは違った視点からの安全性確保が必要になるからである。

2.4.2 社会変革への挑戦

産業革命を引き起こした蒸気機関は汎用テクノロジーとして紡績だけではなく、機関車や汽船、あるいは製造業にも大きな変革を促した。電力もまた電灯だけではなく、あらゆるところで使われ、社会を大きく変えた。システム・情報科学技術もまた、その分野だけにとどまらず農業や製造業、医療や運輸などのサービス業、公共サービスさらには他の分野の科学技術にも多大な影響をもたらす。大きな可能性を持ったシステム・情報科学技術のさらなる発展を目指すためには、ナノテクノロジーやライフサイエンスなどの自然科学だけではなく、経済学や社会学、心理学など人文・社会科学との連携が必須である。そのための人材育成と、継続的な発展が望まれる。

本項では、システム・情報科学技術が、どのような形で社会変革に寄与するかを、特に社会経済インパクトへの広がりという形で捉える。また、社会適用を変革する仕組みは、先行する米国の取り組みを事例に取り上げつつ、わが国における社会変革への挑戦を述べることとする。



図 2-16 社会変革への寄与

2.4.2.1 社会経済インパクトの広がり

システム・情報科学技術による社会へのインパクトは、それまでの業務をより効率的に行うことによってコストを抑える、という側面と、それまでのやり方ではできなかった新たな価値を創造する、という側面がある。また、インパクトを与える領域として、大別して人間社会と産業・経済が考えられる。

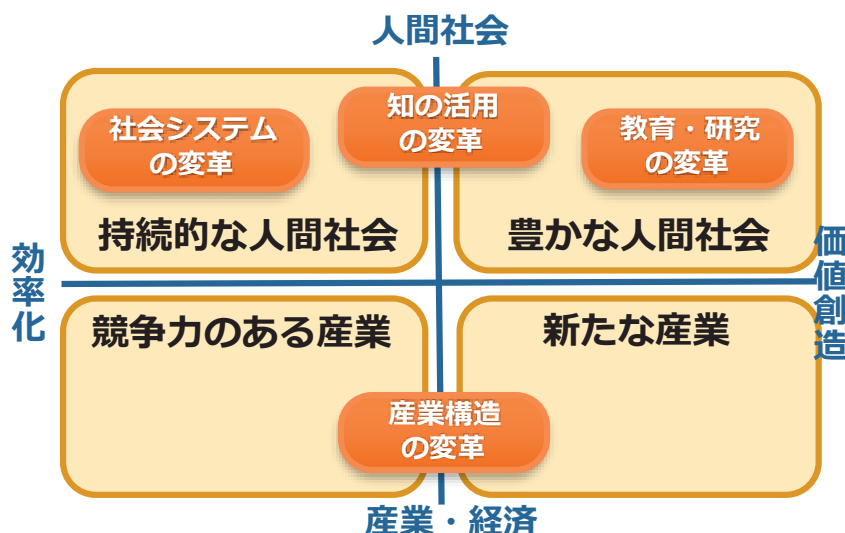


図 2-17 社会経済的インパクトの広がり和社会変革への寄与

- ・効率的な社会に向けては、社会システムのデザインと運用が重要である。ここでは、デザインの段階から IT を意識し、公共サービスの質を向上し、社会の成長とともに進化する、柔軟でロバストな社会システムの運用・管理によって、社会的なコストの低減を実現する。
- ・産業競争力の強化に向けては、IT による見える化や効率的な設計、実装により企業コストの大幅な低減を実現する。
- ・新産業の育成においては、IT による従来産業の付加価値向上とともに、新たなビジネスモデルへの対応による新産業の開拓を行う。
- ・豊かな社会の実現に向けては、科学的発見の加速、科学技術研究からイノベーションまでの時間短縮を行い、科学研究→社会的価値の創出→科学研究への還元という持続的なイノベーションを可能とする。

このように、IT の進化はさまざまな影響を社会に与える。

IT による経済効果は非常に大きい、多くの予測は IT 単体の効果にすぎなかった。IT は汎用的な性格を持っており、IT が情報通信産業を通じて、あらゆる産業に影響を与え、さらにその影響が多くの産業へと拡大すると予想される。こうした効果を予想することは従来行われてこなかったが、黒田昌裕らが「ICT/IoT に係る科学技術政策の社会的・経済的影響の評価を目的とした多部門相互依存一般均衡モデルの構築」ⁱⁱⁱ⁾ において新たな試み

iii) 黒田昌裕他、ICT/IoT に係る科学技術政策の社会的・経済的影響の評価を目的とした多部門相互依存一般均衡モデルの構築、日本経済学会 2015 年度秋季大会、2015

を始めている。

ここでは、IoT の研究開発を例にとり、生産性向上に向けた研究投資政策として

- ① 生産でのセンサーの高度利用を図るために年 20 億円を 5 年間にわたって投資
- ② ①に加えて生産の自動化を図るためにさらに年 20 億円を 5 年間にわたって投資
- ③ ①②に加えて生産のプラットフォーム化を図るためにさらに年 20 億円を 5 年間にわたり投資

という三つのオプションを設定し、日本経済全体のシミュレーションを行い、政府・民間研究開発による技術発展が各産業部門に与える影響を推計し、実質国内総生産（GDP）や産業構造の変化を予想した。

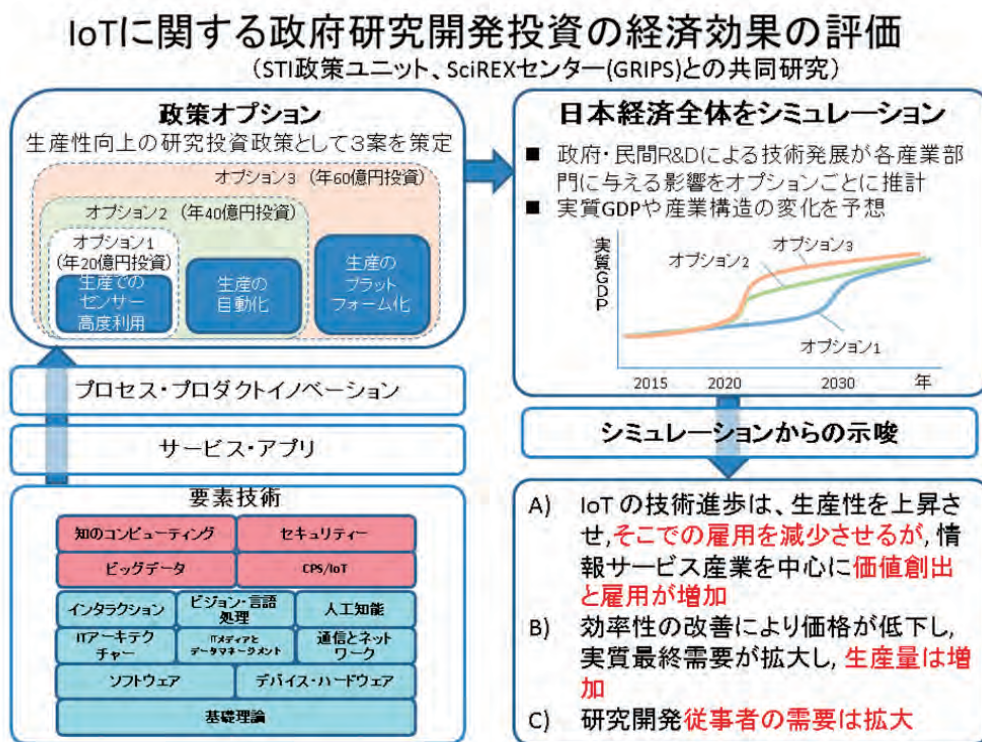


図 2-18 IoT に関する政府研究開発投資の経済効果の評価

これによると、政府研究開発投資は民間の投資に先んじて技術発展を促し、GDP の成長を早期にもたらすと予想されている。また、① IoT の技術進歩は生産性を上昇させ、そこでの雇用を減少させるが、情報サービス産業を中心に価値創出と雇用が増加、②効率性の改善により価格が低下し、実質最終需要が拡大し、生産量は増加、③研究開発従事者の需要は拡大という示唆が得られている（図 2-18）。

2.4.2.2 社会適用を加速する仕組み

社会適用に向けてはいわゆる自然科学の研究者だけではなく、社会や経済的な観点からの観察、分析、構成にかかわる研究者やエンジニアが必要となる。また、実際のサービスとして提供するためのシステムインテグレーションも必要となり、そのためにはサービス開発業者や、システムインテグレータ、ベンダーの参加が必須である。さらに、エンドユー

ザーは、日々の生活においてサービスを利用し、改善点を見だし、次の目標を設定しなければ、本当の意味での社会定着は実現しない。エンドユーザーの積極的参加こそが最も重要である。

これらの多くのステークホルダーがサービスを構築し、それを社会に適用し、そのサービスをエンドユーザーが実際に使用してみる。その結果、社会が変化し、その変化が新たな要求を生み出す。したがって、再度変化した社会やエンドユーザーを観察し分析することが必要となる。このようにして、社会定着にはそのループの中に多くのステークホルダーが参加しなければならない。その様子を日米の取り組みを含め図 2-19 にまとめた。

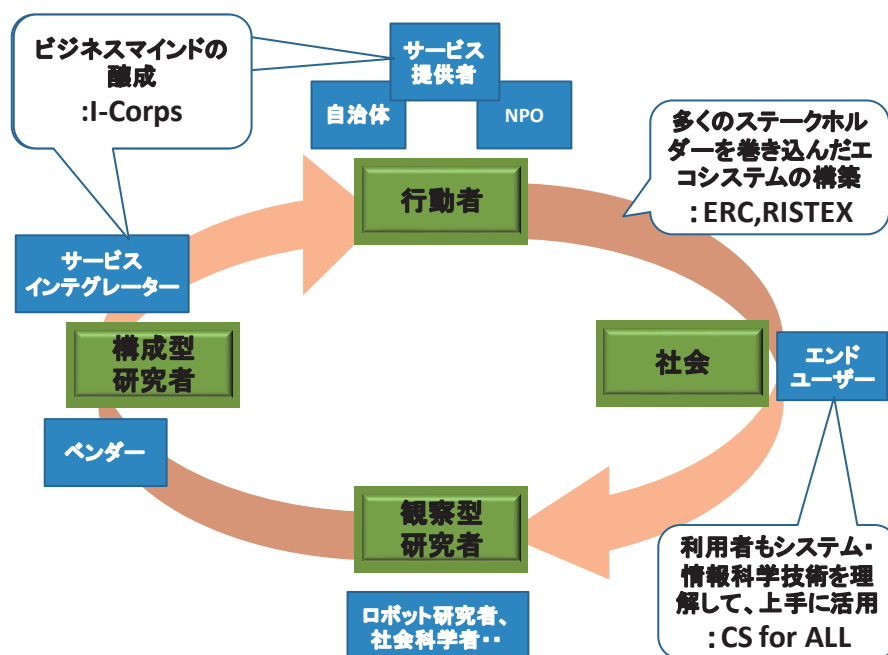


図 2-19 研究開発から社会適用の推進方法における日米の取り組み

・研究開発から社会適用までのエコシステムの構築

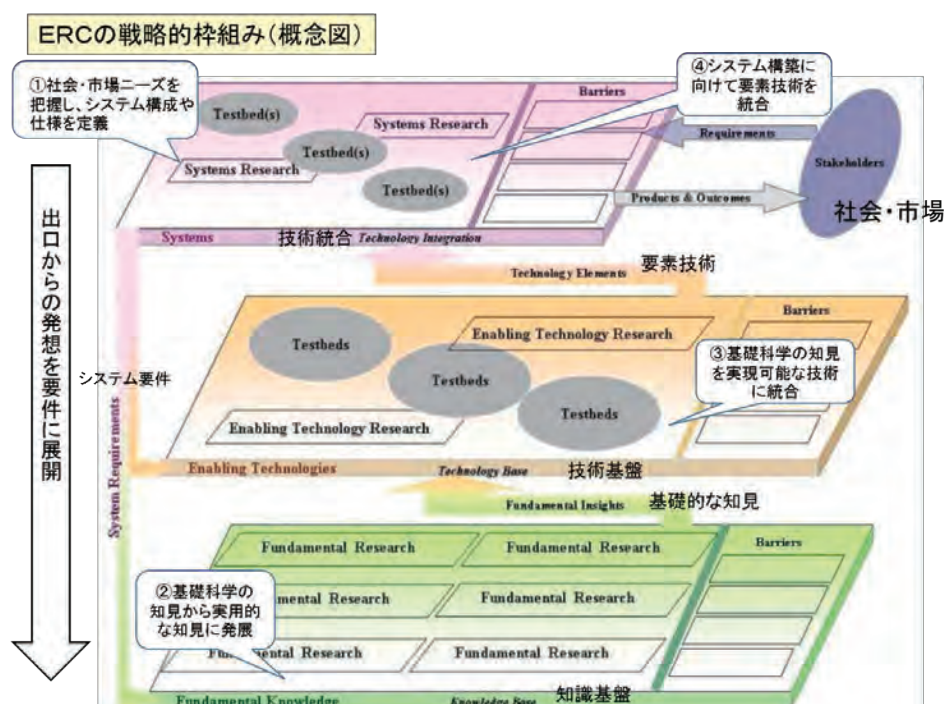
社会システムとして定着・普及するためには時間がかかる。単に技術開発を行うだけでなく、制度設計やビジネスモデルの検討、社会システムの場合は自治体との折衝、住民への説明と理解の獲得なども必要になる。社会システムとしていきなり大規模に始めることが得策でない場合には、小規模な社会実験から開始し、現場からのフィードバックを得て、環境を整備しながら本格化するという方法もとらなければならない。このために米国では NSF が ERC という枠組みで活動を実施している（コラム NSF Engineering Research Centers 参照）。JST の RISTEX も同様の試みをしているが、さらに規模や継続性についての強化が望まれる。

・研究者のビジネスマインドの醸成

米国での事例に見られるように、システム・情報技術分野では、技術とビジネスのアイデアがあれば非常に短期間で事業を立ち上げることができる。わが国でもシリコンバレーのエコシステムをまねた取り組みが始まっているが、必要なのは、エコシステムだけでな

システム・情報科学技術を用いて既存の社会システムを IT 化するだけでも効果はあるかもしれない。しかし、システム化、IT 化を前提にして社会システムを考え直すことにより、抜本的な改革ができる可能性がある。システム・情報科学技術に携わるものだけが、こういうことを考えるのではなく、社会やビジネスを考える人が、素養としてシステム・情報科学技術、特に計算論的思考^{iv)}を身につけていることが重要であり、そういう人材の育成が必須である。コラム「情報科学技術の社会への浸透に伴う教育政策の必然的転換」に米国における取り組みを紹介する。

米・NSF が支援する Engineering Research Centers (ERC) は、研究者がボトムアップで、「市場に役立つ新しい融合技術」および「それを実証するための研究計画」を提案し、NSF が 10 年間の資金提供を行う研究プログラムである。申請の枠組みとして、下図に示す通り社会・市場ニーズを把握し、システム構成や仕様を定義し、そのシステムに求められる技術、知識を統合化することが求められる。これまでに具体的な成果として、埋め込み型 / 携帯型心房除細動器、高密度ハードディスクの Ni-Al 地下層、多段階電圧制御技術（インテル社のプロセッサで使用）等が挙げられる。

図 2-20 ERC の戦略的枠組み (概念図)^{v)}

NSFは研究成果だけでなく、毎年サイトビジット等を通じ、本プログラムを通じて実際に人材育成が効果的になされているか、関連企業の参画が広がっているか等、多角的な視点から進捗確認・評価を行っている。

v) 出典: NSF, "Three-Plane Diagram", <http://erc-assoc.org/content/three-plane-diagram> (2017年2月23日アクセス)
を元に加筆

コラム NSF Innovation Corps (I-CORPS)

NSF Innovation Corps、略称 I-CORPS（CORPS は軍団という意味でアイコアと読む）は、官民パートナーシップによる大学発ベンチャー企業育成プログラムである。死の谷を越えるために、従来あった SBIR/STTR（Small Business Innovation Research / Technology Transfer）を補完するものとして 2011 年に開始し多くの成果を挙げている。

教授、学生、メンターの 3 人 1 チームで応募し、採択されると図 2-21 のように提案時から Lean Start Up の研修と 100 の潜在顧客とのインタビュー等を通して、社会適用のプロセスを身につける。これが国全体でのファブリックとなり、知識、経験の集積となり、さらに人材育成、地方創成の鍵にもなっている（図 2-22）。



図 2-21 I-Corps の各チームに要求される活動^{vi)}



図 2-22 チームから国全体へのファブリック^{vi)}

vi) NSF, "I-CORPS introductory webinar slides", https://www.nsf.gov/news/special_reports/i-corps/pdf/2014-06-03_i-corps_webinar_slides.pdf (2017 年 2 月 23 日アクセス)

コラム 情報科学技術の社会への浸透に伴う教育政策の必然的転換

情報科学技術の社会への浸透は、社会システムや産業構造を変革するだけでなく、国の教育政策を大きく転換させようとしている。「国際的な産業競争力を高めるためには、IT 人材の養成・確保が必要不可欠である」という認識のもと、各国で「コンピューター科学」関連教科の義務教育化の重要性が指摘されようになった。このような背景には、今後予想される世界的規模の「IT 人材の不足」があり、産業界からの必然的要請である。しかしながら、一方では、「コンピューター科学」関連教育に携わる人的資源不足の観点から、このような産業界主導の取り組みを危ぶむ意見もある。また、複雑で予測不能な現代社会の課題を解決するには「問題を理解し、適切にモデリングし、適切な解法をデザインする」能力が必要不可欠であるのも事実である。以下では、諸外国における「コンピューター科学」関連教育に関する教育政策の転換¹⁾について概観する。

Windows95 が発売された 1995 年には、イスラエルではジュディス・ガル＝エゼル教授が“A High School Program in Computer Science”という論文を発表し、「コンピューター科学 (Computer Science: CS) は高等学校 (10-12 年生) で物理、生物、化学などと同等の教科として教えらるべきである」「プログラミング言語だけでなく、アルゴリズムの原理やプログラミングによる実装を教えるべきである」と提言した²⁾。これを受けて国も「コンピューティング」科目を「コンピューター科学」とし、「アルゴリズムの思考を開発し、アルゴリズムをプログラミングで実装する」ことを目的としてカリキュラムの改定が行われた。また、各国が指導者不足を課題とする中で、イスラエルでは高等教育における指導者は、大学で CS 学士号を取得し教育省による教員免許が必要であると規定し、教育省が 2000 年に設立した国立コンピューター科学教員センターでも専任指導者の養成に取り組んでいる。現在、イスラエルの高等学校では CS は最短でも 3 年間で 90 時間 (毎週 1 時間を 3 年間) を必修とし、選択できるより高度なコースでは 270 時間、最も専門的なコースでは 450 時間にのぼり、これは日本で言えばほぼ数学や国語の学習時間に匹敵している。実際、経済的にもコンピューター分野でイスラエルは人口に比して非常に強力な国であり、世界中の企業がイスラエルの技術を競って買う状況となっている。

2010 年 8 月、英国では、「コンピューティングは、物理学や数学のような、それ自体が豊かで深い学問分野である」という観点から、探究型のコンピューティング教育を義務教育化すべきであるという宣言がなされ、政府主導で公立学校のカリキュラム改革が始まった。これは、コンピューターがどのように動くか? どのようにコンピューターをプログラムするべきか? を教える教育への大きな転換であった。そして、宣言から 4 年後の 2014 年 9 月から、5 歳から 16 歳までの公立小中学校の全児童生徒に「コンピューティング」が必修科目として導入された。この先導的な動きは、現在の社会・経済ニーズに対応するための教育改革であり、問題解決できる人材の育成ニーズに応えるための先導的な政策転換である。なお、英国の「コンピューティング」教科は、コンピューター科学 (Computer Science)、情報技術 (Information Technology)、デジタル・リテラシー (Digital Literacy) の 3 分野で構成されており、アルゴリズムの理解、プログラムの作成とデバッグ、論理的推論によるプログラムの挙動予測、情報技術の安全な利用法、コンピューターネットワークの理解などを学ぶ探究型の教科である。

ロシアはリーマンショック以降、ロシア版シリコンバレーとも言われる経済特区地域の地名を冠した国家的プロジェクト「スコルコヴォ」計画を実施しており、医療、エネルギー効率、核エネルギー、宇宙通信、IT における近代化優先 5 分野関連のベンチャー企業を育成するために、IT 教育・人材育成の重要性が叫ばれている。政府は、ベンチャー企業支援を通じて国内産業を育てることで、優秀なロシア人たちの米国等への頭脳流出を防ぐことも狙っている。さらに産業界からの要請もあり、ロシアでは 2009 年から初等教育、2010 年から中等教育におけるプログラミング教育を含む「インフォマルティカと ICT」の必修化を開始している。

米国では、ジョージ・W・ブッシュ共和党政権時代の 2006 年に、ジャネット・ウィング (カーネギー・メロン大学) が、「Computational Thinking (計算論的思考)」と題したエッセイにおいて、すべての子供の分析的思考能力として「読み、書き、算術」のほかに計算論的思考を加えるべきであり、「計算論的思考はコンピューター科学者のみならず全ての人にとっての基本的な技術である」と宣言した³⁾。しかしながら、米国のコンピューター科学教育に関する意欲的な将来ビジョンが描かれたのは、バラク・オバマ民主党政権に代わってからである。政権が 2 期目に入った 2013 年になって、世界的な子ども向けプログラミング教育推進キャンペーン (Hour of Code) が NPO 法人 Code.org により本格化し、バラク・オバマは自らプログラミング教育の必要性を訴える動画に登場するとともに、スティーブ・ジョブズ (Apple 創業者)、ビル・ゲイツ (Microsoft 会長)、マーク・ザッカーバーグ (Facebook 創業者) 等の著名人がコメントした動画も公開された。その後、バラク・オバマは、2016 年 1 月 30 日のラジオ演説で、「コンピューター科学は、読み、書き、算術に並ぶ必須の基本スキルである」と語り、コンピューター科学を K-12 (日本の初等中等教育) 課程の授業に組み込むための支援策“Computer Science (CS) for All Initiative”として、向こう 3 年間で 40 億ドル (約 5000 億円弱) を拠出する計画であると発表した。具体的には、米国全体で 40 億ドル、学区ごとに 1 億ドルを配分し、K-12 の教育期間中にコンピューター科学教育を担う教員のトレーニングや、高品質な教材へのアクセスの拡大、効果的な地域パートナーシップの構築を、Apple、Facebook、Microsoft、Code.org など七つの企業・団体も支援者として参加して行うことを宣言したのである。“CS for All Initiative”では、プログラミング技能とともに計算論的思考も重視しており、単なるプログラミング教育に欠けている要素をカバーし、意味深い知識と応用の利く柔軟な思考法を提供できると期待されている⁴⁾。しかしながら、このようなプログラミング技能と計算論的思考の両方を重視したコンピューター科学教育改革は、2017 年に新しく誕生したドナルド・トランプ共和党政権にどう引き継がれるか不透明であり、教育改革に関する国家レベルでの取り組みは具体化途上である。

Skype を生んだ国としても有名なエストニアでは、2012 年に学校裁量という形で、小学 1 年生から遊びながらプログラミングを学ぶアプリ開発授業の実施が始まっている。また、教育水準が世界的に高いことで有名なフィンランドでは、約 10 年に 1 度のカリキュラム改正が行われており、そのタイミングに合わせて 2016 年より小学校の必修科目として「プログラミング」が加わり、1 年生からプログラミングに触れ、自らゲームやツールを作る経験をする教育が始まっている。また、シンガポールや韓国では、産業界からの強い要請に応えるために、高度な IT 人材の育成を目的として、プログラミング教育が検討され、まだ初等教育では実施されていないものの中等教育段階（日本の中学校および高校に相当）における選択科目として実施され始めた。

日本では、2013 年 6 月 5 日に、2020 年までに「世界最高水準の IT 利活用社会を実現する」ことを目標にした「世界最先端 IT 国家創造宣言」が閣議決定され、そのために必要不可欠な高度な IT 人材の育成・確保のための IT 教育の推進に向けた改革案が、政府が示した成長戦略の素案として、盛り込まれた⁵⁾。高度な IT 人材の育成・確保のために、デジタル教材の開発、双方向型の教育、およびグローバルな遠隔教育などの授業革新を推進するとともに、産学官連携で IT 人材育成の仕組みを構築して、義務教育段階からのプログラミング教育を導入することにより「世界最先端 IT 国家」へ向けた政府戦略を推進させることを目指したものであった。その後、文部科学省、中央教育審議会・初等中等教育分科会教育課程部会において慎重に検討され、2020 年度以降実施される次期学習指導要領におけるプログラミング教育の義務教育化を検討することが 2016 年 4 月に発表された。このことが契機となって、小学校におけるプログラミング教育について「単なるプログラミングを覚えることである」との誤解が一部に広がった。文部科学省は、2016 年 6 月 16 日に「小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議」を開催し、プログラミング教育の目的は、論理的思考力や創造性、問題解決能力等の礎となる普遍的な「プログラミング的思考」の力を育むことであるとあらためて定義した⁶⁾。このような「プログラミング的思考」を育むための教育改革は始まったばかりであり、米国の「計算論的思考」育成教育改革同様、具体化途上である。この教育改革は、わが国が「世界最先端 IT 国家」となるために、産官学一体となって取り組むべき重要な挑戦的課題であることは間違いない。

（参考文献）

- 1) 文部科学省、平成 26 年度情報教育指導力向上支援事業（諸外国におけるプログラミング教育に関する調査研究）報告書（2017 年 1 月 25 日閲覧）
http://jouhouka.mext.go.jp/school/programming_syogaikoku/programming_syogaikoku.html
- 2) Judith Gal-Ezer, Catriel Beer, David Harel, Amiram Yehudai, “A High School Program in Computer Science”, IEEE Computer 28, 73-80 (1995) .
- 3) Jeannette M. Wing, “Computational Thinking”, Communications of the ACM 49, 33-35 (2006) ; J. M. ウィング（著）、中島秀之（訳），“計算論的思考”，情報処理 56, 585-587 (2015) .
- 4) Annie M. Paul, “The Coding Revolution”, Scientific American 315, 42-49 (2016) ; A. M. ポール，“どうなる米国のプログラミング教育”，日経サイエンス 2017 年 2 月号, 90-97 (2017) .
- 5) 内閣官房 IT 総合戦略室，“世界最先端 IT 国家創造宣言”（2017 年 3 月 9 日閲覧）
<http://www.itdashboard.go.jp/Achievement/>
- 6) 文部科学省，“小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について（議論の取りまとめ）”（2017 年 3 月 9 日閲覧）
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/houkoku/1372522.htm