

1. 俯瞰対象分野の全体像

1.1 俯瞰の範囲と構造

1.1.1 社会の要請、ビジョン

システム・情報科学技術 (IT) は汎用的な基盤技術であり、さまざまな分野においてその効果を発揮し、多様な領域の課題解決や新産業創出を加速する。エネルギー・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と相互作用しながら進化するシステム・情報科学技術分野の研究開発戦略立案には、社会経済の動向や社会から寄せられる要請や目指すべきビジョンの把握が不可欠である。国際的には国連が開発計画として掲げる「持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals, SDGs)」が一つの指針となる。掲げられている 17 のゴールと、その原因・課題とは多対多の関係であり、1 つずつ順に解決していくことは必ずしも得策でない。IT は、センシング・情報収集、情報蓄積・提供・共有、データ分析、ネットワーク整備など、複数の場面でソリューションを提供でき、SDGs 達成への貢献度は他のどのような科学技術分野より大きいと期待できる。そのため、IT だけで SDGs 課題が解決するわけではないが、このビジョンのもとで IT に対する具体的な政策立案・政府投資・制度設計等が行われることは一定の価値がある。

第 5 期科学技術基本計画では、我が国が目指すべき社会ビジョンとして「Society 5.0」が掲げられた。SDGs の地方自治体の固有事情を考慮した目標設定 (ローカライズ) も鑑み、Society 5.0 の実現に資するシステム・情報科学技術が目指すビジョンは以下の 4 つにまとめられる。

(ビジョン1) 産業構造の変革

IT の社会浸透は、産業構造の変革を伴う。多様なニーズ・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や、透明でオープンなサービスプラットフォームなどの実現が期待される。多くの産業で、効率化、省エネルギー化に貢献する。

(ビジョン2) 社会システムの変革

IT と社会との相互作用は、社会システムに大きな変革をもたらす。Internet of Things (IoT) や人工知能といった最新の情報技術を使って、経済発展と社会問題解決を両立し、誰もが快適で活力に満ちた質の高い生活を送れるような社会を目指した、社会システムデザインが促進される。

(ビジョン3) 教育・研究の変革

IT は教育・研究の発展にも貢献する。多様性・個別性に対応した質の高い教育・再教育・職業訓練などの提供や、センシング情報やエビデンスに基づく教育プログラムの構築が可能となる。また、シミュレーションと機械学習を組み合わせた新しい研究開発方法論の構築や、それに基づく科学的新発見、その情報共有・データ共有など、研究のあらゆる面で IT が基盤となる。

（ビジョン4）知の活用の変革

ITは、人類全体の知を向上させ、その活用に大きな変革を及ぼす。知識・情報・データベース化と統合利活用、それを実現するようなプラットフォーム、そして実際の人間社会に影響を及ぼすサイバーフィジカルシステムなどにより、知の発見・伝播・蓄積が加速される。

ITだけによるビジョン実現はもちろん限界がある一方で、ITに全く頼らないビジョン実現もまた非効率である。ITは特定の応用や産業に特化して価値を生むのではなく、多くの場合でメタソリューションやプラットフォームとして機能し、多様な知と技術の統合システムとして価値を生む。上記で定めた4つのビジョンは、このようなITの汎用技術（General-purpose technologies）の側面が最大限活かされるものを顕在化させたものである。

実現に向けては、IT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の実施が求められる。また、ITの急速な社会浸透が様々な社会の変化をもたらしているが、法制度や倫理規範などが技術進歩や実用化のスピードに十分に適応できていない事例も生じている。そのため、ITの研究開発戦略は、単純な科学技術以外の視点も踏まえて立案・策定する必要がある（1.2.5も参照）。

我が国の研究開発戦略としては、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ための戦略シナリオが必要である。ITは単一のコア技術だけで大きな社会価値を生み出すことは難しく、強い基盤技術を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やビジネスモデルも含めた社会価値創出・社会適用（ソリューション）に向けた戦略が重要になる。今後の展望とあわせ1.3で詳しく触れる。

1.1.2 科学技術の潮流・変遷

ITの進化の大きな流れとして本俯瞰報告書では「スマート化」「システム化・複雑化」「ソフトウェア化・サービス化」の3つのトレンドとして捉える。

（トレンド1）スマート化

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した。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。

（トレンド2）システム化・複雑化

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、セキュリティへの脅威やシステム不全の連鎖的な波及への対応が不可避になっている。

（トレンド3）ソフトウェア化・サービス化

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。

これらの技術トレンドだけを追うことは、必ずしもよい研究開発戦略を生み出さない点に注意を要する。過去、人類の進歩と幸福のための科学技術やその研究開発が、犯罪や戦争のために幾度も利用されてきた歴史を忘れてはならない。また、科学技術の進展と雇用の関係、技術的格差の経済的格差への影響、あるいは科学技術がもたらす倫理的・法的・社会的な問題（ELSI）も常に意識すべき事項である。これらの動向に対してITが適切な発展を遂げ、健全な社会を構築するためには、技術トレンドを含む多様な観点からの想像力ある検討が必要である。

1.1.3 俯瞰の考え方（俯瞰図）

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。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に含まれる研究開発領域は、社会の要請・ビジョン（1.1.1）と技術のトレンド（1.1.2）の両者を鑑み、「エマージング性」「社会インパクト」「ビジョン・ミッション」の3点を基準として戦略的な重要度が高い研究開発領域を複数特定したものである。

（選定基準1）エマージング性

「エマージング性」は、登場した新技術への期待が急速に高まっているかどうかを見る。機械学習（2.1.1）やAIソフトウェア科学（2.1.4）、災害対応ロボット（2.2.7）などが代表例である。従来技術の改善や新結合による新しい応用の開拓も含む。

（選定基準2）社会インパクト

「社会インパクト」では、実装したときに、生産性の向上や制度変更、社会構造の変革など、社会へのインパクトの大きさを見る。代表的な例は、意思決定・合意形成支援（2.1.5）、社会システムアーキテクチャ（2.3.4）、サービスプラットフォーム（2.4.5）。

（選定基準3）ビジョン・ミッション

「ビジョン・ミッション」では、国全体としての推進方針や成果の公共性の高さなどに基づき、政府が主導的に進めるべき領域を選ぶ。代表例はサイバーフィジカルセキュリティ（2.3.3）や制度設計（2.3.5）である。

図1-1-1のとおり、選定された33の研究開発領域を、1.1.2で述べたIT分野の3つのトレンド「スマート化」「システム化・複雑化」「ソフトウェア化・サービス化」にマップした上で、「人工知能・ビッグデータ」「ロボティクス」「社会システム科学」「コンピューティングアーキ

テクチャ」の4つの俯瞰区分としてまとめた。2つ以上の区分に含まれるような研究開発領域についても、便宜上どちらか片方の区分で扱うものとした。

「研究開発の俯瞰報告書 (2017年)」(以降、2017年版)で扱った6俯瞰区分は、本「研究開発の俯瞰報告書 (2019年)」(以降、2019年版)では4俯瞰区分に変更した。変更内容は以下のとおりである。

まず、2017年版では「知のコンピューティング」と「ビッグデータ」の2区分でカバーしていた研究開発領域は2019年版では「人工知能・ビッグデータ」区分で一括して取り扱うこととした。また、2017年版の「セキュリティー」区分は、昨今のサイバーフィジカルシステムにおけるフィジカル部分まで含むセキュリティーの重要性を鑑みて2019年版では「社会システム科学」区分で扱うものとした。また、2017年版の「セキュリティー」区分に含まれていた、プライバシー情報の保護と利活用に関する事柄は2019年版では「人工知能・ビッグデータ」区分にて、セキュリティーアーキテクチャーに関する事柄は2019年版では「コンピューティングアーキテクチャ」区分にて、それぞれ取り扱うようにした。表1-1-1に、4つの俯瞰区分に含まれる研究開発領域を示した。

(1) 人工知能・ビッグデータ

人工知能 (AI) 技術自体が急激に進化し次の技術ブレークスルーへの期待も高まっている(「2.1.1 機械学習」)。技術進展により人間の代わりにAIが自動実行できる作業も増加しつつあるが、まだ最終判断は人間に委ねられるケースがほとんどである。一方で、人間が意思決定を行う際に考慮すべき要因・影響の膨大さや複雑さは、人間が思考できるレベルを超越しつつある。第3次AIブームでは「2.1.2 画像・映像解析」「2.1.3 自然言語処理」に見るようにAI応用が拡大し、応用革新につながるような技術チャレンジが進展している。技術的には、医療診断や自動運転を含む様々なAI応用システムで、人間を上回る精度や高度なプロセスの自動化が実現しつつあるが、機械学習を含むシステムはブラックボックスで、偏見学習、誤認識誘発攻撃等の問題も発生し、その解決が求められている(「2.1.4 AI ソフトウェア工学」)。同時に、「2.1.5 意思決定・合意形成支援」「2.1.6 データに基づく問題解決」「2.1.8 社会におけるAI」のように社会との関係性も新しい局面を迎えている。人間・社会の理解の観点では「2.1.7 計算脳科学」も注目される。

(2) ロボティクス

ロボティクスは、ITと物理世界とのインタラクションに不可欠な要素であり、近年は「2.2.1 認知発達ロボティクス」「2.2.2 生活支援ロボット」に見るように、人間との共生に向けた人間行動の理解や適切な介入、自律性の発現を促進する研究の傾向が顕著である。社会のスマート化による効率化、省エネルギー化、人間とロボットの協働を前提にした労働のモジュール化と参加を促すプラットフォームの構築など、実社会・実環境への浸透も進んだ(「2.2.3 医療ロボット」「2.2.4 海中ロボット」「2.2.5 宇宙ロボット」「2.2.6 インフラ保守・建設ロボット」「2.2.7 災害対応ロボット」)。自律走行車はロボティクス技術の結晶と言え、今後も一見「ロボット」とは見えないロボティクス活用は拡大すると見込まれる。

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。我が国は、「2.2.10 産業用ロボッ

ト」に見るように、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を牽引してきた背景がある。この製造業ロボット技術を足がかりとして、「2.2.11 研究開発用ロボット」など利用領域の拡大や、人とかかわる環境への導入における安全性向上に資する「2.2.8 ソフトロボティクス」「2.2.9 生物規範型ロボティクス」などの開発に注目が集まっている。

(3) 社会システム科学

社会システム科学の俯瞰区分では、社会システムの革新と安定的挙動のための研究開発領域を扱う。我が国が目指す Society 5.0 は、先端技術を産業や社会生活に取り入れ、「2.3.6 サービスサイエンス」で述べるように個々のニーズに合わせたサービス提供によって社会課題を解決する取り組みと位置づけられる。一方で、既存の社会システムは世の中の動向(人口動態変化、技術進歩、グローバル化、新興企業の台頭等)に追従できていない状況である。例えば、ITが格段に普及してもそれを扱う社会の仕組みは数十年変わらないことや、既存の法制度や慣習のために新たな技術やサービスの社会適用が阻まれることもある(「2.3.1 計算社会科学」「2.3.5 制度設計」)。このような問題を解決し、政治、経済、金融、教育、芸術等のあらゆる分野の社会システムを刷新するための手法確立が強く求められている。

とくに、モノやサービスなどがネットワークで接続され、巨大化・複雑化した社会システムの安定的運用をめざし、「2.3.2 社会インフラマネジメント」「2.3.3 サイバーフィジカルセキュリティ」「2.3.4 社会システムアーキテクチャ」などの研究開発領域での総合的な取り組みが必要である。

(4) コンピューティングアーキテクチャ

この半世紀でコンピューターの連携の広がり、1台のコンピューターから複数のコンピューターを連結した利用へと変化してきている。「2.4.1 プロセッサアーキテクチャ」「2.4.2 量子コンピューターサイエンス」に挙げられるように、計算原理からコンピューターを革新するような動きに加え、大規模データセンター化が進み、CPU、記憶装置、通信装置などを適切に配備運用するための技術開発も行われている(「2.4.3 データセンタースケールコンピューティング」「2.4.4 データ処理基盤」)。

スマートフォンなどのデバイスとクラウドコンピューティングの組合せによるサービスがネットワーク上で提供され、ソフトウェア基盤の整備も進んでいる。IoT/CPSでは処理内容に応じて、物理世界にある端末側、ネットワークのエッジサーバー、データセンターのサーバーで処理をするなど、柔軟な構成を実現する「2.4.6 IoT アーキテクチャ」が重要となってきた。またハードウェアやソフトウェアの隠蔽化により、下位層の構成を意識せずに様々な応用やサービスを実現できる「2.4.5 サービスプラットフォーム」は今後のあらゆるビジネスにおいて最も重要なレイヤーとなる可能性が高い。

UBERやAirBnBなど、シェアリングサービスが広まっている。「2.4.7 ブロックチェーン」が実現する、ビットコインのような仮想通貨やスマートコントラクトなどでも新たな展開がある。このような新しい応用がサービスプラットフォームや分散処理基盤に対し大きく影響するため、技術トレンドとは別に新応用可能性の検討は重要である。

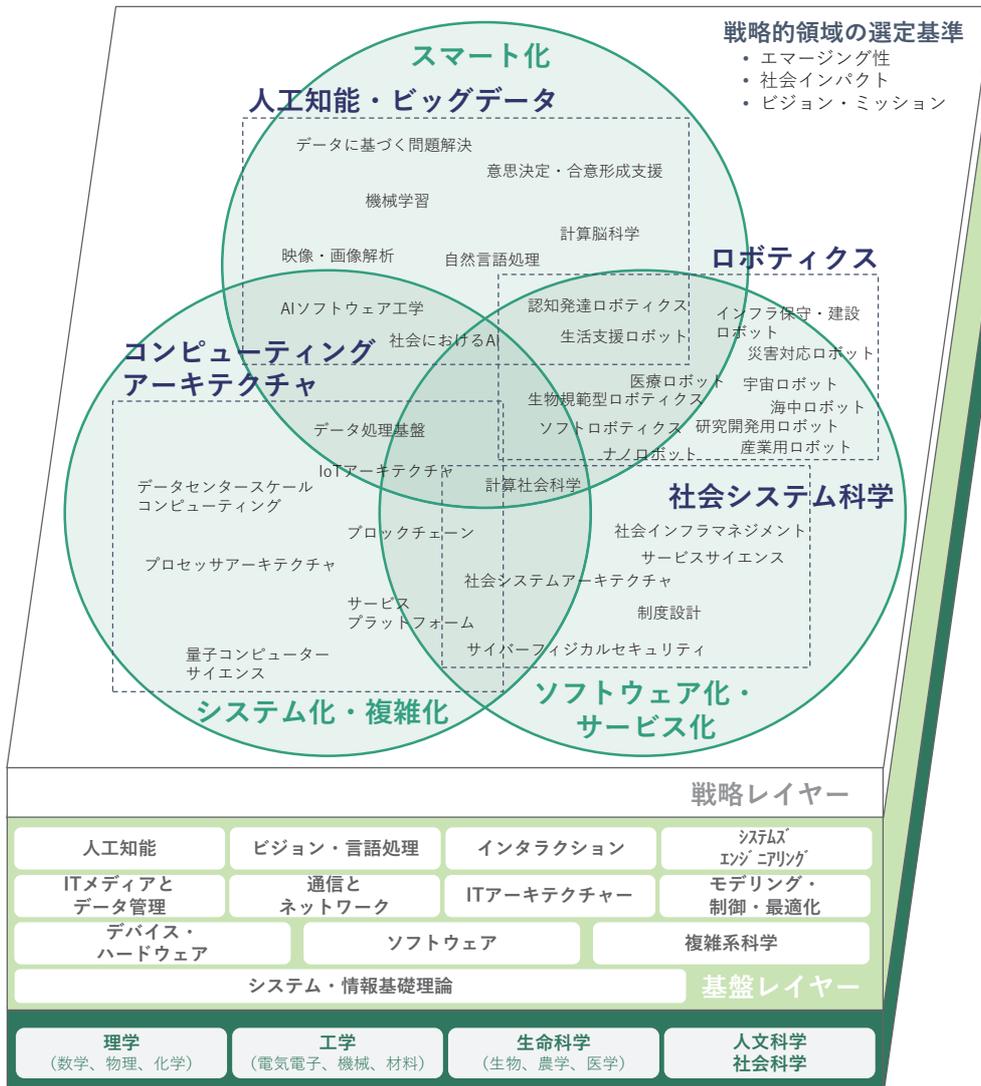


図1-1-1 システム・情報科学技術分野の俯瞰

表1-1-1 システム・情報科学技術分野の俯瞰区分・研究開発領域

俯瞰区分	研究開発領域
2.1 人工知能・ビッグデータ	2.1.1 機械学習
	2.1.2 画像・映像解析
	2.1.3 自然言語処理
	2.1.4 AI ソフトウェア工学
	2.1.5 意思決定・合意形成支援
	2.1.6 データに基づく問題解決
	2.1.7 計算脳科学
	2.1.8 社会における AI
2.2 ロボティクス	2.2.1 認知発達ロボティクス
	2.2.2 生活支援ロボット
	2.2.3 医療ロボット
	2.2.4 海中ロボット
	2.2.5 宇宙ロボット
	2.2.6 インフラ保守・建設ロボット
	2.2.7 災害対応ロボット
	2.2.8 ソフトロボティクス
	2.2.9 生物規範型ロボティクス
	2.2.10 産業用ロボット
	2.2.11 研究開発用ロボット
	2.2.12 ナノロボット
2.3 社会システム科学	2.3.1 計算社会科学
	2.3.2 社会インフラマネジメント
	2.3.3 サイバーフィジカルセキュリティ
	2.3.4 社会システムアーキテクチャ
	2.3.5 制度設計
	2.3.6 サービスサイエンス
2.4 コンピューティングアーキテクチャ	2.4.1 プロセッサアーキテクチャ
	2.4.2 量子コンピューターサイエンス
	2.4.3 データセンタースケールコンピューティング
	2.4.4 データ処理基盤
	2.4.5 サービスプラットフォーム
	2.4.6 IoT アーキテクチャ
	2.4.7 ブロックチェーン

1.2 分野の研究開発を取り巻く現状

本節では、システム・情報科学技術分野における研究開発戦略立案を行うに当たって必要となる、社会・経済の動向、研究開発投資や論文、研究コミュニティの動向、各国の科学技術政策・研究開発戦略の動向、研究開発の動向、社会との関係における問題について述べる。

1.2.1 社会・経済の動向

(1) 社会とシステム・情報科学技術

社会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、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。17のゴールと、原因となる課題は多対多の関係にある。したがって、ゴールを一つずつクリアしていくよりは、根源的な課題を解決して複数のゴールの達成を目指すほうが現実的であろう。課題の解決にはあらゆる技術や法制度、ビジネスモデルなどさまざまな視点からのアプローチが必要であるが、課題のある局面を見るとシステム・情報科学技術がソリューションを提供するところもある。しかも、特定のシステム・情報科学技術が複数のソリューションになり得る可能性を持っている。もちろんシステム・情報科学技術だけが問題を解決するわけではないが、共通のメタソリューションになる可能性がある。図1-2-1のように、システム・情報科学技術の提供する機能や価値によってゴール達成への努力が必要である。

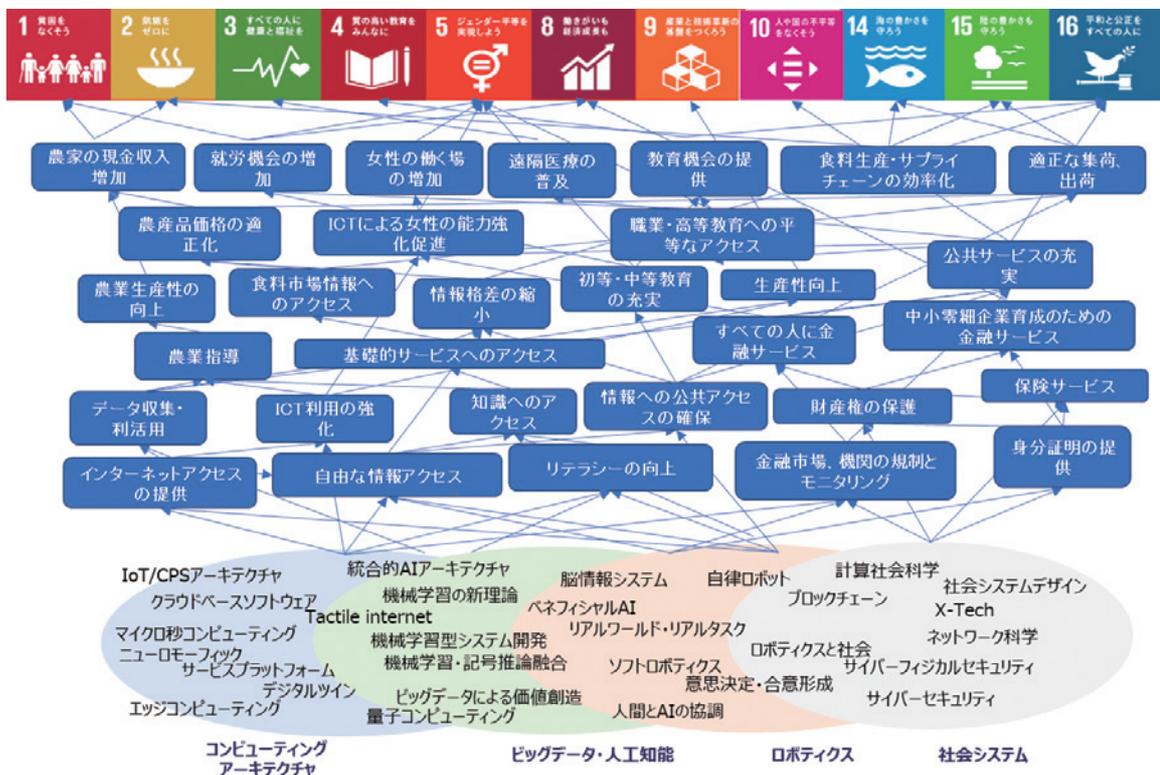


図1-2-1 システム・情報科学技術によるSDGsへの貢献の例

また、英国の EU 離脱や米中間の貿易をめぐる摩擦に見られるように、グローバル化とは違った方向への動きもみられる。中東地域における紛争なども一時期よりは落ち着いてはいるものの、まだまだ予断を許さない状況にあるし、移民の問題も片付いたわけではなく、社会の安定にとっては懸念がある状態である。

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などの問題がある。領土問題など近隣諸国との関係も不安定な状況にある。

システム・情報科学技術そのものにも重要な問題がある。人類の進歩のためのシステム・情報科学技術が、一方ではサイバーセキュリティーや科学の軍事利用などの問題にもつながっている。また、システム・情報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な格差に直結したり、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・情報科学技術の発展が健全な社会の構築に貢献するためには、様々な観点からの検討が必要である。表 1-2-1 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。

表 1-2-1 社会・経済の動向とシステム・情報科学技術との関連

	社会・経済のトレンド	システム・情報科学技術との関連
世界	世界経済成長は年 3-4% 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・飢饉・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機
	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	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まり	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・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

（２）経済とシステム・情報科学技術

システム・情報科学技術産業界の動向に目を向けると、GAFA とも呼ばれる Google、Apple、Facebook、Amazon などデジタルプラットフォーム企業が中国を除く世界の市場と技術開発をリードしている。これらの企業による市場の寡占化が進み、一般消費者に関わる膨大な情報が集積されている。的確な商品の推薦や便利な情報検索、友人とのコミュニケーションなど、消費者にとっては便利な機能がほとんどの場合無料で提供されているが、その一方で購買活動、情報検索行動、友人関係、日々の行動記録などのプライバシーに関わる個人情報がこれらのプラットフォーム事業者に蓄積されている。欧州ではプライバシー情報の独占的な取り扱いに対して、GDPR（General Data Protection Regulation: EU 一般データ保護規則）が2018年5月から適用を開始され、プライバシー保護に向けた動きが活発化している。日本においては、個人情報保護法に加えて、プラットフォーム事業者に対して独占禁止の立場から、その対応策が検討されている。

システム・情報科学技術は汎用的な基盤技術であり、システム・情報科学技術産業界以外にもさまざまな分野において、効率化などの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。特に企業における情報技術の利活用を「デジタル・トランスフォーメーション」と呼び、業務プロセスや働き方、ビジネス連携などの改革を進める動きが活発化している。さらに、金融や教育、医療などの業界を情報技術で大きく変革しようとする動きは、「xTech」と呼ばれて注目を集めている。これには、FinTech(金融市場)、EdTech(教育市場)、AdTech(広告市場)、MedTech(医療市場)、RetailTech(小売市場)などがある。かつてクラウド・コンピューティングは企業のITシステムが「所有」から「使用」へのシフトを起こすと言われていたが、実はそれにとどまらずビジネスの進め方そのものをも変革してしまった。デジタル・トランスフォーメーションはさらにその動きを加速していくであろう。

システム・情報科学技術は既存の産業を強化するだけでなく、新たな産業の創出にも寄与している。AirBnB、UBER 等がサービスを提供しているシェアリング・エコノミーが一例である。これは、余っている資産、たとえば家の部屋を、それを欲している人、たとえば旅行者に貸すというビジネスである。UBER の場合は、車を所有する人の余っている時間と車で、移動を必要とする人を運ぶというサービスである。膨大な遊休資産と、それを欲する数多くの利用者とのマッチングをシステム・情報科学技術で実現することによって、これらのサービスが可能になった。制度的な問題や従来ビジネスとの摩擦などがあるが、相当程度の規模になっている。この考え方を推し進めると、人々の雇用形態にも変化をもたらすと言われている。労働者はいわゆるフリーランサーとして、自らの意思や好みに応じて、好きな時間だけ働くということも可能になる。逆に、雇用主からは、必要な能力を必要なときだけ、世界中から最も低賃金で調達することもできるようになる。このように、必要に応じて発生して、完了すれば消える単発の仕事に基づく経済形態をギグ・エコノミーと呼ぶこともある。シェアリング・エコノミーやギグ・エコノミーは、労働制度や税制度など多くの問題をはらんではあるが、ある程度の市場規模にはなると思われ、今後の制度的な対応が必要である。

システム・情報科学技術分野では、米国が圧倒的な強みを有しており、基礎研究から応用開発、ビジネスの立ち上げなどすべての面においてリードしている。システム・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。ビッグデータや AI、ロボティクス、セキュリティー、CPS/IoT など広範な分野において産官学の連携が有効に働き、基礎から応用研究、ビジネス展開に大きな力を有している。

欧州では、欧州委員会が、中長期成長戦略 Europe 2020 の下、欧州デジタルアジェンダを立ち上げ、活気に満ちたデジタル単一市場の実現を含めた 7 領域で持続可能な経済的・社会基盤を ICT により構築しようとして活動している。Horizon 2020 や後継の Horizon Europe はその一環である。IMAGINE DIGITAL, CONNECT EUROPE という旗印の下、5 億人、20 カ国以上のデジタル単一市場を形成し、アメリカと中国の脅威に対抗しようとしている。

一方で、ヨーロッパ内の各国でも、CPS/IoT や人工知能・ロボット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。ドイツにおいては、Bosch、Siemens、SAP 等の企業を中心となり 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。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。

アジアにおいては、中国の盛んな研究開発投資と巨大データ集積による AI 実用化が急激に進んでいる。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。2017 年 7 月には中国国務院が「次世代 AI 発展計画」を発表し、2030 年までに中国の AI 技術を世界最先端に引き上げ、AI 関連産業の市場規模を 10 兆元超（約 160 兆円）にするという目標を掲げた。これに基づき、国有ファンド、民間ファンド、外資系ファンド、関連企業による投資や、BAT (Baidu, Alibaba, Tencent) による投資が拡大している。画像認識、音声認識、ビッグデータ、深層学習などに投資が集中している。

韓国では、少数企業が研究開発や市場化をけん引している。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、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 事業化の支援強化を図っている。

我が国のシステム・情報科学技術産業においては、産業用ロボット、FA システム、スーパーコンピューター、生体認証など個別に強い技術を有している。しかし、かつての半導体や通信機器のようにグローバルな市場で圧倒的な強みを持ち、ビジネス展開していたような状況にはない。AI や IoT に関しても、人工知能技術戦略会議に基づく総務省、文部科学省、経済産業省の三省連携を中心とした施策に基づく研究開発や数多くのコンソーシアム活動が行われてきたが、産業として大きな国際的競争力を有するには至っていない。今後は、上記の強みを活かした上で、社会の問題解決に向かったソリューションを提供することに活路を求めて行くのではないだろうか。

一方で、これまで我が国のシステム・情報科学技術のユーザであった自動車産業や素材産業、サービス産業などが、先のデジタルトランスフォーメーションの流れや製品・サービスの進化のためにシステム・情報科学技術の研究開発、ビジネス化に取り組んでいる。もはや自前ですべての技術を調達することは不可能なので、海外の技術の取り込みも盛んである。しかしすべてを海外に頼ることは、安全保障やセキュリティー、あるいは産業界の総合力や雇用の確保として好ましくないことがあり、分野を絞る、あるいはコアとなる技術領域を見極めて、我が国固有の技術を育成していくべきであろう。

1.2.2 研究開発投資や論文、コミュニティ等の動向

主要国の研究開発の規模感とその傾向、日本の重点推進4分野（ライフサイエンス、ICT、環境、及びナノテクノロジー・材料）別の研究費を概観するとともに、主要国におけるコンピュータ科学（CS）関連分野の論文動向に加え、主要国におけるコミュニティとしての大学グループの論文動向について述べる。さらに、ICT分野の中でも最もホットな研究領域であるAI関連研究に着目し、AI関連国際会議への参加者数やプレプリントサーバー arXiv に投稿されるAI関連論文のサブカテゴリ別の論文数、AI関連特許数の比較を通して見えてくるAI研究の潮流を概観する。

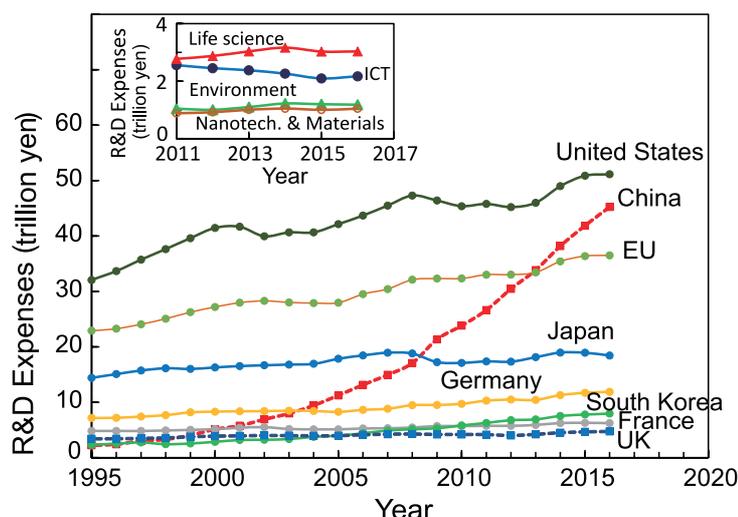


図1-2-2 主要国における研究開発費総額（名目額）の推移。挿入図は、日本の重点推進4分野別の研究費の推移。なお、NISTEP「科学技術指標2018」および総務省「科学技術研究調査」数値データをJST-CRDSが可視化したものであり、縦軸の単位は兆円(trillion yen)である。

まず、図1-2-2に示した主要国の研究開発費総額（名目額の通貨換算値）の推移から、主要国の研究開発の規模感とその傾向を概観する。なお、この図は、文部科学省の科学技術・学術政策研究所（National Institute of Science and Technology Policy: NISTEP）が「科学技術指標2018」として報告した数値データをプロットしたものである¹。世界第1位の規模を保っている米国の研究開発費総額は長期的な増加傾向を示している。しかしながら、（世界第2位をキープしていた）日本を2009年に上回った中国は、その後も研究開発費総額を驚異的に増加させ続け、2016年には45.2兆円にまで達し、51.1兆円の米国に迫ってきた。日本は、長期的に増加傾向が続いてきたが、政権交代があった2009年に研究開発費総額が減少した際に中国に抜かれたものの、その後、世界第3位の座（2016年次18.4兆円²）をキープしている。2004年に中国に抜かれたドイツも長期的に増加傾向が続いており、2016年には11.9兆円になった。また、日本やドイツに追随してきた韓国の研究開発費総額も長期的に増加傾向にあり、近年では、緩やかな漸増傾向にあるフランス（2016年次6.2兆円）や英国（2016年次8.0兆円）

¹ 文部科学省 NISTEP が企業、非営利団体・公的機関及び大学等の研究費の合計を研究開発費総額として、その名目額を通貨換算したものである。

² 総務省が行った最新の科学技術研究調査結果によれば、2016年度の日本の科学技術研究費の総額（企業、非営利団体・公的機関及び大学等の研究費の合計）は18兆4,326億円であり、2017年度には19兆504億円（対前年度比3.4%）と3年ぶりに増加して、過去最高値を示している。

を上回り、2016年では世界第5位の8.0兆円に達している。以上が、主要国の研究開発費総額の規模感とその傾向である。

図1-2-2の挿入図に、日本の重点推進4分野（ライフサイエンス、ICT、環境、及びナノテクノロジー・材料）別の研究費の推移を示す。なお、この挿入図は、総務省が行った「科学技術研究調査」結果をプロットして可視化したものである。「ICT分野の研究費が徐々に減るとともに、ライフサイエンス分野の研究費が徐々に増える」傾向が2011～2014年の間に見られるが、ライフサイエンス、ICT、環境及びナノテクノロジー・材料の重点推進4分野の比率は、大雑把に見て、2016年以降は、3：2：1.1：1の割合で重点推進4分野の研究開発費は推移している。

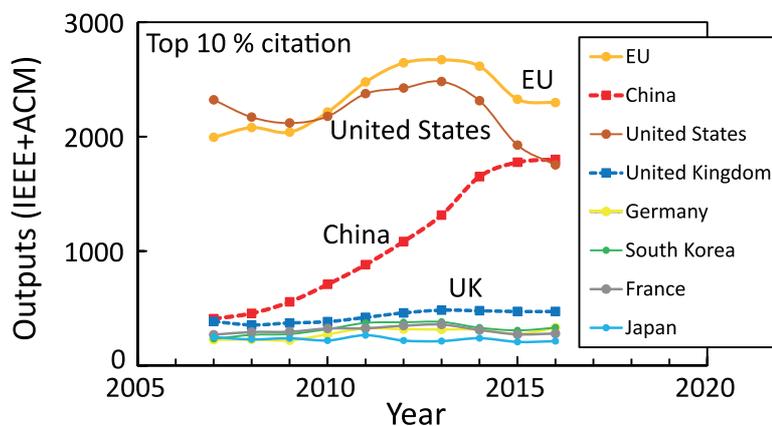


図1-2-3 主要国のトップ10%CS関連論文数(分数カウント)の推移

図1-2-3に、コンピュータ科学(CS)関連分野のIEEE論文およびACM論文に着目したトップ10%論文に関する分数カウント法³による文献調査結果を示す。なお、本分析はJSTプログラム戦略推進室が、ElsevierのScopusデータを用いて、独自に行った分数カウント分析結果をプロットしたものであり、「論文1本の生産への貢献度」を表している。図から、他国を圧倒してきた米国が、2013年以降、明確な大幅な減少傾向が見られる。米国を猛追してきた中国は、トップ10%論文数では2017年には米国を抜いて、1位の座についている。これは、「トップ10%論文1本の生産への貢献度」に関して、中国の急増および米国の急減という質的变化を示唆している。ただし、中国の勢いは、やや止まりつつある。また、第3位は英国であるが、ドイツ、フランス、韓国、日本を含め、中国や米国に比べて、3番手グループにおける増減の変化が顕著ではなく分かりにくいことから、「トップ10%論文1本の生産への貢献度」の差異を見るのは難しい。

次に、CS関連分野の全出版物(全CS論文)に着目したトップ10%およびトップ1%論文に関する整数カウント法による文献調査結果を示す(図1-2-4、図1-2-5)。図から、「トップ10%およびトップ1%論文1本の生産への関与度」に関して、各国の違いが明確に見られる。

³ NISTEP「科学技術指標2018」によれば、「国の科学研究力」を定量化して国際比較する際には、整数カウント法による「論文1本の生産への関与度」計測と、分数カウント法による「論文1本の生産への貢献度」計測の二つの手法が用いられる。これは、近年の論文の共著形態の複雑化を考慮するためであり、その差が、「国際共著論文を通じた外国の寄与分」を表している。また、「国の科学研究力」を量的観点から見る場合には「論文数」が用いられるのに対して、質的観点から見る場合には「被引用回数が多い論文数(トップ10%補正論文数、トップ1%補正論文数)」が用いられている。

米国は、2013年以降、他国の勢いにより、明確な大幅な減少傾向が見られる。米国、英国、ドイツ、フランスを猛追してきた中国は、2010年フランスを追い抜き、2013年にドイツ、そして2015～2016年に英国を抜いて、トップ10%論文数では米国に及ばないものの、世界第2位に躍進している。ただ、トップ1%論文に関しては、まだ、世界第2位の英国に及ばず、2017年によろやくドイツを抜いて3位に到達した状況である。ドイツ、フランスは、2013～2014年以降、「トップ10%およびトップ1%論文1本の生産への関与度」に関して、明確に減少傾向がみられるのに対して、韓国と日本は、他国に比べて数は少ないが、微増ながらも、着実に伸びていることが分かる。

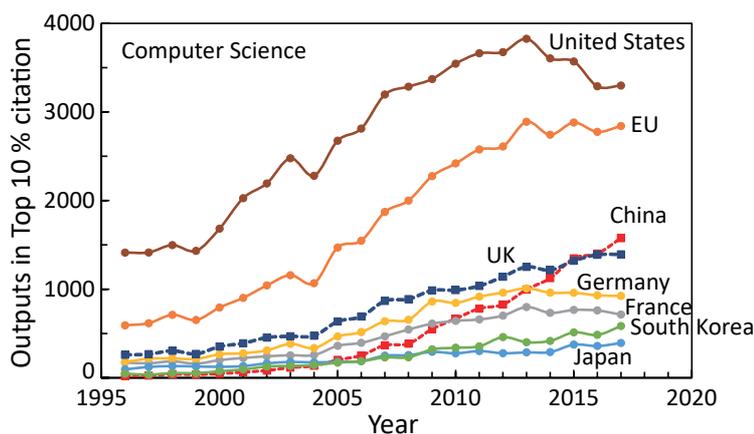


図1-2-4 トップ10% CS論文数(整数カウント)の推移

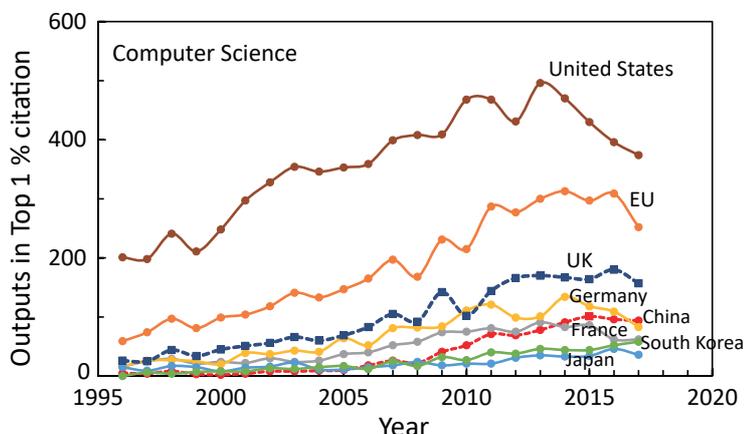


図1-2-5 トップ1% CS論文数(整数カウント)の推移

近年、該当論文の被引用数を、同じ分野・出版年・文献タイプの文献の世界平均(基準値)で割った指標 Field-Weighted Citation Impact (FWCI)⁴ による評価も行われるようになってきた。なぜなら、論文の被引用数による評価は、数字が具体的でわかりやすく検証が容易である反面、分野・出版年・文献タイプによって平均が異なり、他の文献との相対的な位置づけがわかりにくいからである。このようなFWCIによる評価は、分野・出版年・文献タイプによる違いを補正しており、他の文献との相対的な位置づけがわかる一方、具体的な被引用数が見えないので、検証が難しい。そこで、以下では、FWCIの観点から、全CS論文における主要国の動向

⁴ Field-Weighted Citation Impact (FWCI) の世界の平均値は 1.0 である。

を調べるために、主要国の FWCI 値の推移グラフを図 1-2-6 に示す。2017 年次において、米国の全 CS 論文の平均値 1.6、日本の全 CS 論文の平均値 0.85 である。韓国や中国の全 CS 論文の平均値はまだ 1.0 を超えていないものの、世界平均の目安である 1.0 に接近してきている。(中国の FWCI 値を急増し始める) 2010 年を境に、米国、ドイツ、フランスは、増加傾向から減少傾向に転じているが、英国は着実に FWCI 値を伸ばしており、米国に接近してきた。全 CS 論文の平均値の観点からみれば、韓国と中国は、1995 年以来、全 CS 論文の FWCI 値は増加傾向にあり世界平均に近づいている。一方、日本は、1995 年～2010 年、FWCI 値は変動しているものの顕著な増減傾向は見られなかったが、2010 年～2013 年には減少傾向が見られたものの、2013 年以降増加傾向に転じ、欧米が FWCI 値を下げる中、韓国、中国を猛追している。

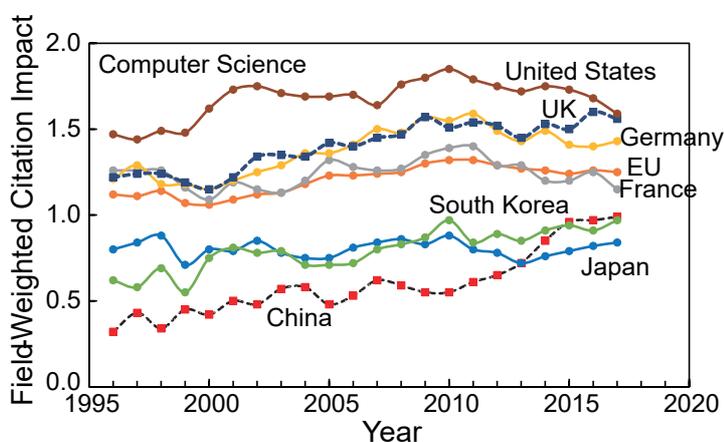


図1-2-6 主要国のCS論文のFWCI値の推移

次に、主要国におけるコミュニティとして大学グループに着目し、主要大学グループのトップ論文シェア数（整数カウント）およびFWCI値の推移から、主要大学グループの論文動向を探る。なお、主要国の主要大学グループとしては、米国から Ivy League（ブラウン大学、コロンビア大学、コーネル大学、ダートマス大学、ハーバード大学、ペンシルベニア大学、プリンストン大学、イェール大学）、The University of California + UC National Labs グループ、英国から Russell グループ（ケンブリッジ大学、オックスフォード大学、インペリアル・カレッジ・ロンドン等の研究型公立大学 24 校）、ドイツから TU9 グループ（ミュンヘン工科大学等のドイツを代表する工科大学 9 校）、フランスから UCA グループ（フランストップ 10 の総合大学）、中国から C9 League（北京大学、清華大学等の中国トップの九校連盟）、日本から RU11 グループ（北海道大学、東北大学、東京大学、早稲田大学、慶應義塾大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学、筑波大学、および東京工業大学の 11 大学）を選んで調査対象とした。韓国には、他国のような明確な大学グループが見られないので、上述の韓国データを用いるとともに、参考データとして EU の値も一緒に掲載している。

トップ 1% 論文（図 1-2-7）およびトップ 10% 論文（図 1-2-8）について、いずれも、米国の Ivy League、The University of California + UC National Labs グループが 1 位をキープしているものの、トップ 1% 論文において明確な大幅な減少傾向が見られる。フランスの UCA グループの減少が顕著であり、着実に伸ばしている英国の Russell グループに 2007 年以

降抜かれている。中国の C9 League は 2009 年以降、いずれの論文においても、急増し、米英に迫る勢いである。韓国と日本は、トップ 1% 論文について、他の主要国に比べて、割合は少ないが、微増傾向にある。ただ、韓国のトップ 10% 論文のシェア数増加傾向は顕著である。

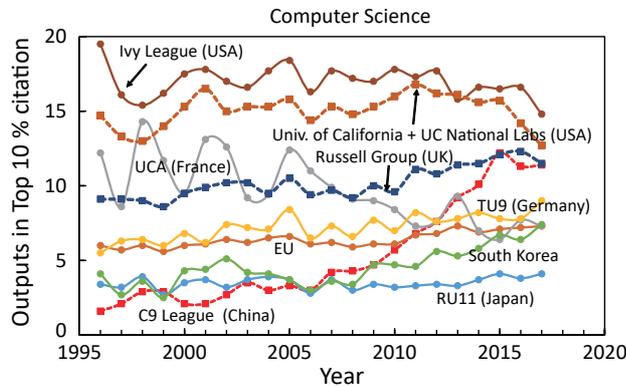


図1-2-7 主要大学グループのトップ1% CS論文シェア数(整数カウント)の推移

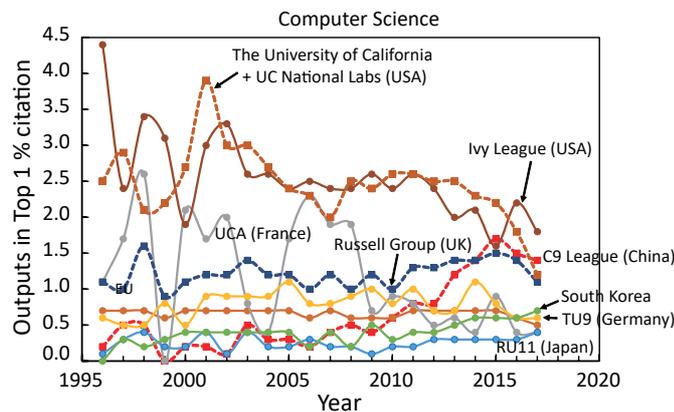


図1-2-8 主要大学グループのトップ10% CS論文シェア数(整数カウント)の推移

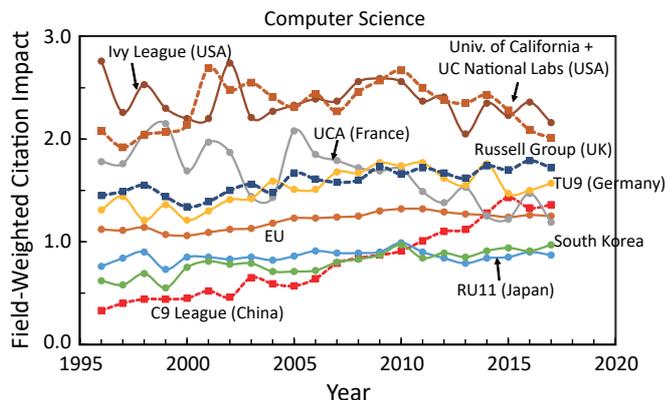


図1-2-9 主要大学グループのCS論文のFWCI値の推移

続いて、主要国の主要大学グループについても、上述したように、分野・出版年・文献タイプによる違いを補正するために、FWCI 値の推移グラフを図 1-2-9 に示す。日本の RU11 グループおよび韓国の全 CS 論文の平均値はまだ 1.0 を超えていないものの、世界平均の目安で

ある 1.0 に接近してきている。中国の C9 League の FWCI 値は、2010 年以降急増し、平均値 1.0 を超えて、ドイツの TU9 グループ、フランスの UCA グループと同じレベルに達している。フランスの UCA グループは、2005 年以降、顕著な減少傾向が見られる。英国の Russell グループとドイツの TU9 グループは、着実に FWCI 値を伸ばしている。ただ、ドイツの TU9 グループは 2010 年以降、減少傾向に転じている。一方、日本の RU11 グループは、1995 年以降、微増ながらも、韓国全体同様に増加傾向にある。

2018 年版 Artificial Intelligence Index (AI Index 2018) レポートの数値データを用いて、全科学技術分野、コンピュータサイエンス (CS)、および人工知能 (AI) における学術論文の年間出版率の増加に関して、1996 年との比較値の推移を図 1-2-10 に再プロットする。いずれの論文数も増加しているが、2010 年以降 AI 関連論文数の増加は CS 関連論文数の増加を凌駕しており、AI 研究への関心の高さが急激に高くなったことを示唆している。それは、規模が大きい AI 関連国際会議への参加者の推移 (図 1-2-11) にも表れている。特に、NeurIPS⁵ (Conference on Neural Information Processing Systems)、CVPR (Computer Vision and Pattern Recognition Conference)、ICML (International Conference on Machine Learning) の国際会議が、2010 年以降に多くの参加者を集めており、CS 研究の潮流を示している。

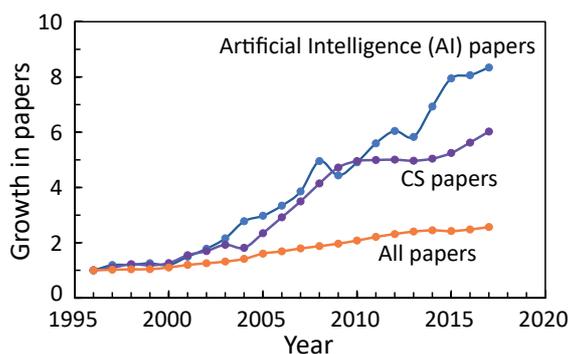


図1-2-10 AI、CSおよび全論文数の1996年比の推移(AI Index 2018レポート・データ)

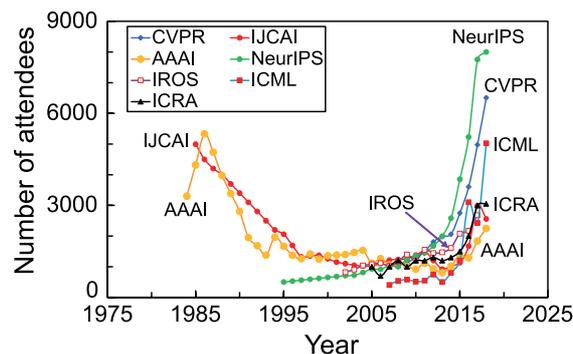


図1-2-11 大きい規模のAI会議への参加者数の推移(AI Index 2018レポート・データ)

プレプリントサーバー arXiv に投稿される論文は、特に CS 研究においては、査読の有無や論文受理にかかわらず、著者が先見性を主張したり自身の研究を広めるために使われる傾向がある。arXiv における AI 論文の主なサブカテゴリ別の論文数(AI Index 2018 レポート・データ)の推移を図 1-2-12 に示す。arXiv に関する AI 論文の数は全体的にも多くのサブカテゴリでも増えている。特に、コンピュータビジョン (Computer Vision: CV) とパターン認識 (Pattern Recognition: PR) に関するものが爆発的に増加しており、2014 年以来 arXiv の最大の AI サブカテゴリとなっている。2 番手は、機械学習である。CVPR およびその一般的なアプリケーションへの関心が高まっていることに加えて、言語やロボティクスなどの他の AI アプリケーション分野での成長も示唆していると考えられる。

⁵ NeurIPS は、2017 年までは NIPS と呼ばれていた。

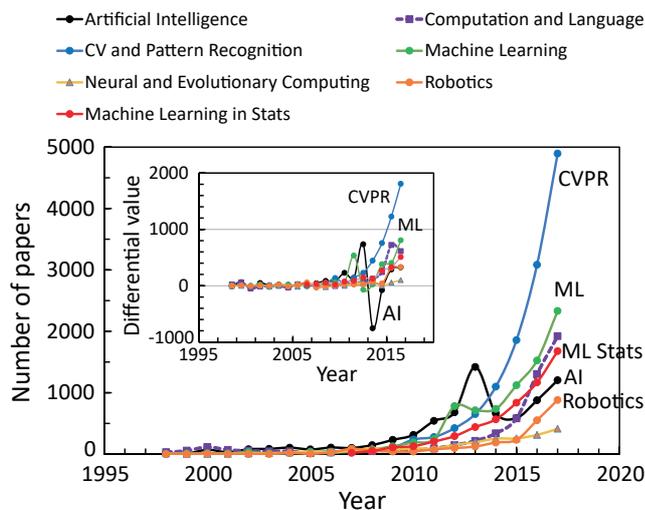


図1-2-12 arXivにおけるAI論文の主なサブカテゴリ別の論文数の推移 (AI Index 2018レポート・データ)

発明者の国別のAI特許数の推移についても、上述のAI Index 2018レポートの数値データを用いて、図1-2-13に再プロットする。なお、挿入図は数値データの微分値の推移である。2014年には、AI特許の約134000件(約30%)が米国で生まれ、続いて韓国(約69200件)および日本(約68900)がAI特許の約16%を保有している。2014年に日本を猛追してきた韓国は、日本をわずかに抜いた。中国は、AI特許は約56000件(約13%)であり、CS論文数の増加率に比べて、その変化は小さい。特に、2007年~2008年頃に日本を抜く勢いがあった中国AI特許数の成長率は、2008年以降、鈍化傾向にあり、2012年には韓国にも抜かれた。図1-2-13の挿入図に示した成長率で見ると、韓国と台湾が最も成長しており、2014年のAI特許数は2004年の約5倍に急増している。この挿入図からも、中国AI特許数の成長率は、2008年以降、鈍化傾向にあることが分かる。

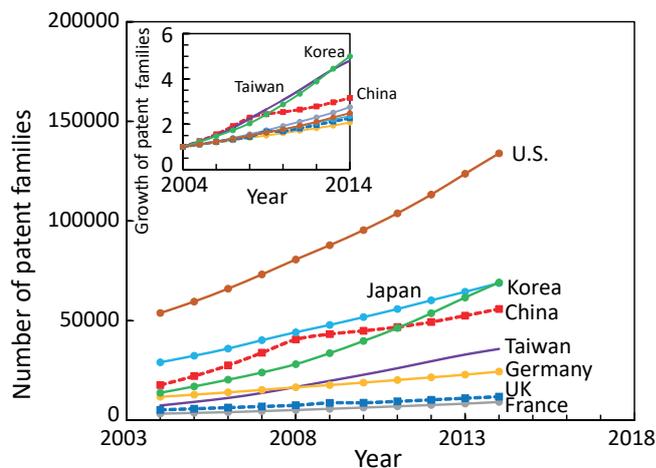


図1-2-13 発明者の国別のAI特許数の推移(AI Index 2018レポート・データ)

世界知的所有権機関（World Intellectual Property Organization: WIPO）による AI 関連特許に関する最新の報告書⁶によれば、企業別の出願数では日米が圧倒的に優位であり、米 IBM が 8290 件で最多で、上位 5 社には米マイクロソフト（5930 件）、東芝（5223 件）、韓国サムスン電子（5102 件）、NEC（4406 件）が続く。出願件数トップ 30 のうち、12 が日本企業（東芝、NEC、富士通、日立製作所、パナソニック、キヤノン、ソニー、トヨタ自動車、NTT、三菱、リコー、シャープ）で占められている。一方、学術分野では中国の台頭が目立ち、AI 関連特許の出願上位 20 の大学や公的研究機関のうち、17 団体が中国である。出願件数トップ 30 のうち、中国の 3 大学（17 位が中国科学院、29 位が西安電子科技大学、30 位が浙江大学）のみがランクインしている。

⁶ WIPO Technology Trends 2019 - Artificial Intelligence, https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_1055.pdf

1.2.3 主要国の科学技術政策・研究開発戦略の動向

研究開発戦略立案を行うためには、研究開発の動向だけでなく分野を取り巻く現状の俯瞰的把握が必要である。そのためには、社会・経済の動向、研究開発投資や論文、コミュニティーの動向に加えて、主要国の科学技術政策や研究開発戦略・計画等の動向も把握する必要がある。システム・情報科学技術分野では、米国や中国企業における研究開発活動が大きな潮流を生み出しているが、中国は国策により企業活動が支援され大きな競争力につながっている。また、米国においても自国の産業を促進する政策が打ち出されている。本項では、直近の主要国・地域のシステム・情報科学技術に関連する政策・戦略・計画や制度について述べ、主な動向の一覧を表 1-2-2 に示す。

(1) 日本

[科学技術イノベーション関連の政策]

未来投資戦略 2018 と統合イノベーション戦略の 2 つが日本の科学技術イノベーションに係る大きな戦略である。統合イノベーション戦略がより具体的な科学技術のアプローチを示しており、科学技術基本法に基づく第 5 期科学技術基本計画が現在の中期計画となっている。

未来投資戦略 2018 では、「Society 5.0」「データ駆動型社会」への変革の具体的施策として IT を活用した次世代社会システムの構築、基盤システム・技術への投資促進として「データの高度な活用・流通」「サイバーセキュリティの強化」「最新技術を活用した世界に誇る通信環境」が挙げられている。さらに、地域における少子高齢化、人手不足、災害等の社会課題の解決ニーズ、さらに新技術を活用した新たな手法による地域経済の自立に向けて、まちづくりと公共交通・ICT 活用等の連携によるスマートシティ実現も挙げられている。

2018 年に発表された統合イノベーション戦略では、知の源泉として「Society 5.0 実現に向けたデータ連携基盤の整備」、「オープンサイエンスのためのデータ基盤の整備」が挙げられ、特に取り組みを強化すべき主要分野として「AI 技術」が挙げられている。

他にも、官民 ITS 構想ロードマップ 2018 では、2020 年までに世界最先端の ITS、高度な自動運転（レベル 3 以上）を実現が提示されている。

一方、データ利用のための法整備の面では、改正個人情報保護法により匿名加工情報の定義が明確になり、医療データについては、次世代医療基盤法も整備され、データ活用が期待される。デジタル化・ネットワーク化の進展に対応した柔軟な権利制限規定の整備等を目的として、著作権法の一部が改正され 2019 年に施行された。

拡大版 SDGs アクションプラン 2018 では、『SDGs と連動する「Society 5.0」の推進』において 2019 年年央までの『世界に先駆けて「STI for SDGs ロードマップ」を策定』や『SDGs を原動力とした地方創生、強靱かつ環境に優しい魅力的なまちづくり』において「SDGs 未来都市」の推進が示されている。

2018 年に電子政府に関連する基本計画として、世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画が公表された。国際的に日本は、モバイルブロードバンド普及率やインターネット速度等で上位となるなどインフラ整備面では力強いデータがある一方、電子政府やオープンデータについては、更に上位を目指す余地が残されており、行政手続のオンライン利用を含め、IT・データ利活用の面で官・民が共同で取り組むべき課題は多いとの政府の認識のもと、「世界最先端デジタル国家」へと目標を深化させるとしている。

【政府主導の大規模プロジェクト】

2013年度から開始されたハイリスク・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）、2014年度から開始された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）に加えて、2018年度から官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）が開始された。PRISMでは、革新的サイバー空間基盤技術（AI / IoT / ビッグデータ）、革新的フィジカル空間基盤技術（センサ / アクチュエータ / 処理デバイス / ロボティクス / 光・量子）の領域において、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。2019年以降のターゲット領域として、革新的データベース構築・利活用技術（System of Systems）、革新的ICTプラットフォーム技術（サイバーセキュリティ / ネットワーク / プロセッシング）が検討されている。また、人工知能についてはより中長期的な研究開発として、情報通信研究機構（NICT）、理化学研究所・革新知能統合研究センター（AIP）、科学技術振興機構（JST）AIP ネットワークラボ、産業技術総合研究所（AIST）・人工知能研究センター、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）などで取り組みがなされている。2016年に、総務省、文部科学省、経済産業省が合同で設置した人工知能技術戦略会議から、2018年には統合イノベーション戦略推進会議のもとで、イノベーション政策強化推進のための有識者会議「AI戦略」（AI戦略実行会議）がイノベーション政策強化推進チームを通じて提言を行う体制に変わった。

【人材育成】

Society5.0に対応するためには、「AI人材の育成」の抜本的な加速化が必要との政府認識のもと、基礎体力として理数・IT教育の強化を中心とした「教育改革」（サプライサイド）と、産業界における「人材育成・活用改革」（ダイヤモンドサイド）の両輪での人材育成の必要性が指摘されている。学校教育においては、数理・データサイエンス教育の強化や、工学部・工学研究科での工学人材育成、情報系学部・研究科での情報技術人材育成に加えて、リカレント教育としてデータサイエンティストの育成やIT技術者等の学び直しなど、体系的な人材育成の改革が進みつつある。産業界における人材育成として、情報処理推進機構（IPA）の未踏アドバンスド事業の推進や未踏IT人材発掘育成事業を通じた高度AI人材の育成、第四次産業革命スキル習得講座認定制度などを通じた育成の取り組みが始まっている。

（2）米国

大統領府の行政予算管理局（OMB：Office of Management and Budget）が大統領府の科学技術政策局（OSTP：Office of Science and Technology Policy）に示した2020年度の研究開発予算の優先事項に「米国民の安全保障」、「人工知能（AI）、量子情報科学（QIS）、戦略コンピューティングにおける米国のリーダーシップ」「米国の接続性と自律性」などが挙げられている。

安全保障戦略において、大統領は研究、技術、発明、イノベーションにおける米国のリーダーシップを求めており、このため、政府機関には、AI、自律システム、ハイパーソニックス（超音速技術）、最新の核抑止力、先進マイクロエレクトロニクス、コンピューティング、サイバーセキュリティ能力への優先投資が求められるとしている。AI、QIS、戦略コンピューティングにおけるリーダーシップの継続は、米国の安全保障と経済競争力において非常に重要であり、政府機関は、機械学習、自律システム、ヒトと技術の接点におけるアプリケーションなど、AIの基礎および応用研究に投資すべきとされている。また、第5世代およびそれ以降のワイヤ

レス・ネットワーク等の先進コミュニケーション・ネットワークは益々つながる社会において極めて重要となっており、政府機関は、周波数割り当て、ネットワークの保護、高速インターネットへのアクセス強化を目的とした研究開発の優先化など、これらのネットワークの開発および展開を支援する必要がある。自律車両導入の障壁を低くし、無人航空機システム（UAS：Unmanned Aircraft System）のための運行基準と交通管理システムの研究開発を優先すべきであるとしている。

情報科学技術の研究開発に関する省庁連携の枠組みネットワーキング・情報技術研究開発（NITRD：The Networking and Information Technology Research and Development）プログラムでは、特に国立科学財団（NSF：National Science Foundation）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、さまざまな研究開発業域に幅広く強みを持っている。2020年度NITRDは、研究対象領域（PCAs：Program Component Areas）として以下の10を優先投資分野としている。2018年度からCHumanとCNPSとEdWが追加され、2020年度はAIが追加されている。

- ・人工知能（AI）
- ・人のインタラクション、コミュニケーション、能力向上のためのコンピューティング（CHuman）
- ・フィジカルシステムをネットワーク化するコンピューティング（CNPS）
- ・サイバーセキュリティーとプライバシー（CSP）
- ・教育と人材（EdW）
- ・ハイケイパビリティーコンピューティング・システムの研究開発（EHCS）
- ・ハイケイパビリティーコンピューティング・インフラと応用（HCIA）
- ・インテリジェント・ロボット工学と自律システム（IRAS）
- ・大規模データ管理と解析（LSDMA）
- ・大規模ネットワーク（LSN）

OMBがOSTPに示した2020年度の研究開発予算の優先事項に挙げられた人工知能、量子情報科学等に関する動向を以下に挙げる。

【人工知能】

- ・「米国産業のための人工知能」サミットの開催

2018年にホワイトハウスは、「米国産業のための人工知能」サミットを開催した。AI時代における米国のリーダーシップの維持に必要な政策について、産官学のリーダーを集めて、R&D、人材育成、規制、分野別課題が議論された。国家のAI研究開発エコシステムの支援と、および、AIの利点を最大限に活用するために米国の労働力の育成、米国におけるAIイノベーションの障壁（過度に煩雑な規制）を取り除くこと、インパクトの高い分野別AIアプリケーションの創出がサミット各分科会の議論の結果である。また、国家科学技術会議（NSTC：National Science and Technology Council）下にAI特別委員会を創設することが表明された。

- ・AI合同センター（Joint Center on Artificial Intelligence: JAIC）の設立

国防総省（DOD：United States Department of Defense）は、JAICを設立し、AI対応の機能展開を加速させ、米国総合軍事力を拡張させるためにAI活動を同期させる。

- ・国防高等研究計画局（DARPA：Defense Advanced Research Projects Agency）によるAI

研究開発 5 年計画の公表

DARPA は 2018 年に次世代 AI 技術開発のための 20 億ドルの取組みを発表し、人工知能探索 (Artificial Intelligence Exploration :AIE) プログラムを開始した。

【量子情報科学】

- ・「量子情報科学における米国リーダーシップ強化」サミットの開催

2018 年にホワイトハウスは、「量子情報科学における米国リーダーシップ強化」サミットを開催した。量子情報科学分野における米国の優位を維持向上させるため、産官学のリーダーを集めて議論が行われた。NSTC は「量子情報科学に関する国家戦略総論」を発表した。

- ・NSF 「特製ソフトウェアによる量子コンピュータ・アーキテクチャ共同設計プロジェクト」(STAQ) の計画

NSF は、現在は解くことができない研究上の問題にいつの日か答えることを可能とする実用的な量子コンピューターの開発を加速するために、多機関による「特製ソフトウェアによる量子コンピュータ・アーキテクチャ共同設計プロジェクト」(STAQ) に対し 5 年間で 1,500 万ドルを授与することとした。

- ・米国量子イニシアチブ法の可決

連邦プログラムを統括し、米国経済や安全保障のための量子研究開発の加速を目的とした米国量子イニシアチブ法が上下両院に提出され、下院の法案は可決された。米国における量子開発と技術の応用を推進するための 10 年間のプログラムを創設して課題の解決を図る取り組みが可能となるとしている。

【その他】

人工知能、量子情報科学以外にも、サイバー戦略、先進製造における米国のリーダーシップのための戦略、デジタル・エンジニアリング戦略など情報科学技術関連の研究開発に関する政府の動きがあり、以下に列挙する。

- ・2018 年にホワイトハウスは、国家サイバー戦略を発表した。サイバー空間の脅威から米国を守るための安全保障として、ネットワークや重要インフラの保護、知的財産の盗難防止などが挙げられている。
- ・2018 年 NSTC は、先進製造における米国リーダーシップのための戦略を発表した。「国家安全保障と経済的繁栄の確保のための、産業セクターに亘る先進製造における米国のリーダーシップ」をビジョンとして (1) 新たな製造技術の開発・移行、(2) 労働力の教育・訓練、(3) サプライチェーンの能力拡大を目標に掲げる。
- ・2018 年 DOD はデジタル・エンジニアリング戦略を発表した。この戦略は、システムおよび部品のデジタル化と、国防システムの設計および維持におけるデジタル技術の活用を推し進めるものである。
- ・2018 年 DOE は、2 台のエクサスケールのスーパーコンピュータを開発するため、18 億ドル相当の公募を発表した。2021 から 2023 年にかけて、DOE 国立研究所 (テネシー州オークリッジのオークリッジ国立研究所とカリフォルニア州リバモアのローレンスリバモア国立研究所) に配備が予定される。
- ・ホワイトハウスは、「5G 通信」サミットを開催した。次世代の無線通信技術の速やかな実装に向けた政策について、省庁、議員、産業界等の関係者を集めて議論が行われた。

【人材育成】

2017年に署名された大統領覚書（PM：Presidential Memorandum）において、大統領は教育長官に対して、質の高いSTEM（Science, Technology, Engineering and Mathematics）およびコンピュータサイエンス教育の推進を2018年度に開始することを教育省の最優先課題の一つとして支持している。また、競争助成金による助成においてこの優先課題を考慮に入れるよう指示している。覚書では特にこの取り組みを推進するために教育省内で年2億ドル以上を割り当てる目標を定めている。2018年にNSFは、工学およびコンピューター科学分野の若手研究者に1億5,000万ドルを投資することを発表している。

（3）欧州

Horizon 2020の後継として、Horizon Europeの検討が始まっている。欧州委員会のプロポーザルでは、「フロンティア研究の支援」、「社会的課題の解決」「オープンイノベーション」の3本柱になっている。「社会的課題の解決」全体で527億ユーロのうちデジタル化・産業化に150億ユーロが要求されている。

2014年より開始された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。2018年～2020年のWork Programmeにおける情報科学技術関連のテーマ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共に含まれている。2016年～2017年のWork Programmeからの変更は産業界のリーダーシップで、政策の優先事項との整合性が図られている¹。

【2018年～2020年のWork Programme】

- ・卓越した科学
 - Future Emerging Technologies（FET）
 - Research Infrastructures
- ・産業界のリーダーシップ
 - digitisation of European industry and services
 - European Data Infrastructure
 - 5G
 - Next Generation Internet
 - Cybersecurity
- ・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 the bioeconomy
 - Secure, Clean and Efficient Energy
 - Smart, Green and Integrated Transport
 - Climate Action, Environment, Resource Efficiency and Raw Materials

¹ A guide to ICT-related activities in WP2018-20
<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/guide-ict-related-activities-horizon-2020-work-programme-2018-20>

- Europe in a changing world – Inclusive, innovative and reflective societies
- Secure societies – Protecting freedom and security of Europe and its citizens

その他、規模の小さい取り組みとしては、欧州イノベーション技術機構 (EIT : European Institute of Innovation and Technology²) があり、活動拠点となる EIT コミュニティー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。情報科学技術関連では EIT Digital があり、デジタル変革を推進する起業家の育成を行っている。この他、研究開発自体の政策ではないが、GAF A (Google, Apple, Facebook, Amazon) による個人情報の独占に対し、データ利用のための法整備として 2016 年 4 月制定の GDPR (General Data Protection Regulation: 一般データ保護規則) が、2018 年 5 月に施行され、EU 域内の個人データ保護が強化されている。

(4) 英国

2017 年にビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS : Department for Business, Energy and Industrial Strategy) は産業戦略を発表しており、これが基本的な戦略となっている。英国がグローバルな技術革命を主導できる 4 つの領域の一つとして「人工知能 (AI)」が特定されている。また、「将来の輸送手段」領域では、2021 年までに完全自動運転車が英国の路上で見られるようになることが期待されている。その他、同戦略では、生活能力を支える 5 つの基盤のうちの「インフラ」では、10 億ポンドの公共投資でデジタルインフラを増強する。

同年に BEIS は、極限環境における安全性向上を狙ったロボット技術・人工知能プロジェクトに対して、産業戦略チャレンジ基金 (ISCF: Industrial strategy challenge fund) から 6,800 万ポンド強の投資を行うことを発表した。北海の凍結深度での作業遂行、および原子力発電プロセス、宇宙の厳しい真空環境、深部採掘の熱環境における極限環境への対処が可能なロボット技術・人工知能を開発する。

2018 年の秋の予算編成方針では、「生産性と技術イノベーション」が継続的なテーマとして取り上げられている。政府は産業戦略上の主要課題を支援し、人工知能 (AI)、核融合、量子コンピューティングのような新興技術における世界的リーダーとしての英国の地位を確保するための追加ファンディングを提供する。新技術・イノベーション支援として、「量子技術」、「人工知能とデータ駆動型イノベーション」、「グローバル AI フェロシップ制度および将来の人材フェロシップ制度」が含まれている。政府は、量子技術の開発と実用化を支援するために、さらに 2 億 3,500 万ポンドを投資する。これには、産業戦略チャレンジ基金から最大 7,000 万ポンド、新たに国家量子コンピューティングセンターを支援するための 3,500 万ポンドが含まれる。また、世界トップクラスの AI 研究人材を英国に引き寄せ、保持し、育成するために、政府は新たな Turing AI フェロシップ制度に最大 5,000 万ポンドを投資し、AI における世界最高クラスの研究者らを英国に取り込むことを目指す。また国際的なフェロシップ制度に 1 億ポンドを投資する。

また、2011 年に発表された政府 ICT 戦略は、2013 年に改訂され、環境対応政府 ICT 戦略、エンドユーザーデバイス戦略、政府クラウド戦略の 3 つで構成され、2019 年に至るまで一部の更新が続いており、政府の ICT 化を継続的に推進している。

² European Institute of Innovation and Technology (EIT)
<https://eit.europa.eu/eit-community>

2018年に教育省は、デジタル技能不足に対処するべく、2,000万ポンドを投じることを発表した。60以上の大学、企業、専門機関で構成する新しいコンソーシアム「プログラミング専門学院（IoC：Institute of Coding）」を創設し、次世代のデジタル専門家を養成するとしている。

（5）ドイツ

2018年に連邦教育研究省（BMBF：Bundesministerium für Bildung und Forschung）は、ハイテク戦略2025（HTS2025）を発表した。2006年に策定されたハイテク戦略の第4期に相当するものでありこれが基本的な戦略となっている。未来のためのガイドラインとしてドイツにおける繁栄、持続可能な発展および生活の質を向上させることを目標に、研究とイノベーションを結集する。未来技術の重点7領域に、人工知能、ITセキュリティ及びユーザーフレンドリな技術、マイクロエレクトロニクス（通信システム、5G通信技術）、および量子が含まれている。2018-2021の今後4年間の研究開発の基本方針となるものである。

連邦経済エネルギー省（BMWi：Bundesministerium für Wirtschaft und Energie）は、同年に、デジタル戦略2025を発表した。研究開発から産業促進まで含めた10項目の強化方針が示され、高速の光ファイバー網の整備、デジタル化における中小企業の投資促進、歴史の浅い技術企業およびスタートアップのためのイノベーション環境作り、「デジタル学習」戦略が含まれている。

2018年に連邦会議は、AI戦略に関する連邦政府の基本方針を決定した。AIの研究、開発、応用を世界トップレベルへの引き上げを狙う。また、同年末に開催されたドイツ・デジタルサミットでは、AIの環境整備、5Gのグラスファイバー、欧州企業の連携の必要性について言及されている。AIと光ファイバー網を重視する方向性を打ち出している。

（6）フランス

研究開発の基本的戦略は、2015年に公表されたSNR France Europe 2020である。10の社会的課題の1つとして「情報通信社会」が挙げられ、第5世代ネットワーク基盤構造、IoT、ビッグデータの活用、マン・マシン協働などの課題に取り組む方向性が示されている。近年は人工知能および量子技術を重要課題として捉えており、以下の通り、様々な施策が発表されている。

2018年イノベーション審議会を設置した。イノベーション・産業基金による投資の促進および、フランスのイノベーション政策の主要な方針と優先課題を策定する任務を有する。イノベーション・産業基金は年1億5,000万ユーロのファンディングを行う。この一環として「人工知能による医学的診断の改善方法」「人工知能を活用するシステムの安全確保、認証、信頼性確保の方法」が採択された。

2018年、国立研究機構（ANR：Agence nationale de la recherche）は2019年活動計画を発表した。国の戦略的優先課題として、「人工知能」「量子技術」が盛り込まれている。

高等教育・研究・イノベーション省（MESRI：Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation）は2018年、フランスを人工知能先進国とするためのAI戦略を発表した。4～5か所の本分野に特化した研究機関からなるネットワークを設置し、AIに関する世界最高レベルの研究ハブを構築し、官・民の研究者の交流を促進する。これに基づき、政府は人工知能（AI）の研究開発に関わる国家計画を発表した。2022年までの4年間に総額6億6,500万ユーロを、エコシステムの整備、AI人材の育成、ドイツのAI研究機関との連携強化などに充てる。

2018年に、CNRS、国立情報科学・自動化研究所（INRIA：Institut National de

Recherche en Informatique et en Automatique)、パリ科学・人文学拠点、および企業 (Amazon、Criteo、Facebook、Faurecia、Google、Microsoft、NAVER LABS、Nokia Bell Labs、PSA グループ、SUEZ、Valeo) は、アカデミアと産業界の関心を結集し、人工知能研究の中核拠点となるパリ人工知能研究機構 (PRAIRIE) をパリに創設する旨を発表した。

(7) 中国

基本方針・政策として、国家中長期科学技術発展計画綱要 (2006～2020年) と「国家イノベーション駆動発展戦略綱要 (2016～2030年) の2つがある。これらを踏まえ、2016年に、科学技術イノベーションや戦略的新興産業発展等の第13次五カ年計画が発表されている。

第13次科学技術イノベーション計画では、従来の科学技術五カ年計画と異なり、イノベーションを重視する姿勢がみられる。重大科学技術プロジェクトの実施15領域においては、③量子通信と量子コンピューター研究、④脳科学と類脳研究、⑤国家サイバーセキュリティー研究、⑩天地一体化通信網技術、⑪ビッグデータ技術、⑫インテリジェント製造とロボット技術が挙げられている。産業技術の国際競争力の向上10領域においては、②次世代情報通信技術、②先進製造技術、⑥先進交通技術、⑨ビジネスモデルの進化に資するサービス技術が挙げられている。基礎研究の強化の社会ニーズに向けた戦略的基礎研究においては、③マン・マシン融合に向けた情報通信技術、先進的基礎研究においては、②量子制御と量子情報が挙げられている。

第13次戦略的新興産業発展計画では、1,000Mbps 光ネットの普及、4G 移動体通信の普及、5G 移動通信技術の開発、テレビ放送網とインターネットの融合、全国をカバーするビッグデータシステムの開発と安全管理、高性能 IC チップの開発、AI 技術などの重点領域が挙げられている。また、産業競争力強化の戦略として中国製造 2025 が発表されており、その主要な理念は「情報化と産業化の融合」で、「スマート製造」、「グリーン製造」を目標としている。10の重点分野では、「次世代情報通信技術」が優先順位1位となっている。この他、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インターネット+が発表されている。

これらの戦略の下で AI についての新たな政策的な動きについて以下に挙げる。

2017年に国家次世代人工知能技術発展綱要 (AI2030) を発表し、2030年までのロードマップを示している。ロードマップの内容は以下の通りである。

～2020年

- ・人工知能の全体的な技術水準と応用能力が世界トップレベルの国々と併走する
- ・人工知能関連産業が経済成長の新しいエンジンとなる
- ・人工知能技術が国民生活水準を改善する新しい手段の1つになる

～2025年

- ・人工知能の基礎理論におけるブレークスルーを実現する
- ・一部の人工知能技術及び応用能力は世界をリードする
- ・人工知能技術は産業構造転換及び経済発展方式転換の原動力となる
- ・スマート社会に向けて新しい進展を実現する

～2030年

- ・人工知能の基礎理論、技術及び応用能力が世界をリードし、人工知能技術に基づいたイノベーションのハブの1つになる

この概要の下で、工業・産業化部は「人工知能産業発展を促進するアクションプラン（2018－2020）」を公表、科学技術部は「次世代人工知能（AI）発展規画及び重大な科学技術プロジェクト始動会」を開催し、以下の第一期の国家次世代人工知能オープン・イノベーション・プラットフォームリストを公表（2018年に5番目を追加）した。

- ①百度（Baidu, バイドゥ、中国で最大の検索エンジンを提供する企業である）による「自動運転」
- ②阿里雲公司（Alibaba Cloud, アリババグループの傘下企業、中国最大のクラウドサービスを提供するプロバイダである）による「都市ブレイン」（スマートシティの計算センター）
- ③騰訊公司（Tencent 社）による「医療画像認識」
- ④科大訊飛公司（iFlytek 社。1999年に設立された音声認識・音声合成領域の人工知能会社）による「スマート音声」
- ⑤商流（Sensetime 社。2018年 Softbank から10億ドルの融資を受け、最大のAIユニコーン企業）による「AIによる画像処理技術」

その他、同会議では、「次世代人工知能発展規画推進事務室」及び「次世代人工知能戦略諮問委員会」を発足させることを公表した。

（8）韓国

2017年に発表された「革新成長に向けた人中心の第四次産業革命対応計画」（I-KOREA4.0）が基本的な計画である。知能化に基づく産業の生産性とグローバル競争力を向上し、慢性的な社会問題の解決を通じて生活の質を高め、成長エンジンに連結するとしている。2018年には、第4次科学技術基本計画が発表された。「科学技術で国民の生活の質を高め人類社会発展に寄与」のビジョンが示され、重点科学技術として「複数の人工知能共通プラットフォーム技術」、「インテリジェントコンテンツ制作技術」と「システムSW操作と基盤技術」が新たに重視される技術として示されている。この2つの計画が韓国の産業及び科学技術の中期の方向性を示している。

これらの計画もと、2018年に、人工知能R&D戦略を発表した。世界水準の人工知能技術力を早期に確保するため、今後5年間（2018～2022）に2.2兆ウォンの投資を通じて、技術力確保と最高級人材を育成するとともに、開放的な協力型研究基盤を造成する。

- ① AI技術力確保のための重点推進課題の推進

- ② 5千人の人材育成

- ③ 2022年までに年間400社の企業等が活用可能なコンピューティングパワーの提供

同年、第2次国家超高性能コンピューティング育成基本計画を発表した。「第4次産業革命対応超高性能コンピューティング能力の確保」をビジョンに、3つの推進戦略を提示している。

- ① 様々な分野での超高性能コンピューティングの活用拡大

- ② 将来の需要に備えた超高性能コンピューティング・インフラの確保

- ③ 超高性能コンピューティング分野自体の源泉技術の確保 [1段階：1PFシステムの開発（～2022年）、2段階：30PFシステムの開発（～2025年）]

2018年に科学技術情報通信部は、「脳研究革新2030」（第3次脳研究促進基本計画）を公表した。重点的に推進する6譜代分野の一つに「脳の原理を他分野に活用して融合・知能化技術を開発する。（次世代AI、ブレイン・マシンインターフェース）、ニューロモーフィック・チップ等の開発」が挙げられている。

表1-2-2 科学技術政策・研究開発戦略の動向

	日本	米国
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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 未来投資戦略 2018 : 「Society 5.0」 「データ駆動型社会」 への変革の具体的施策として IT を活用した次世代社会システムの構築、基盤システム・技術への投資促進として 「データの高度な活用・流通」 「サイバーセキュリティの強化」 「最新技術を活用した世界に誇る通信環境」 が挙げられている。 ・ 統合イノベーション戦略: 知の源泉として 「Society5.0 実現に向けたデータ連携基盤の整備」、 「オープンサイエンスのためのデータ基盤の整備」 が挙げられ、特に取り組みを強化すべき主要分野として 「AI 技術」 が挙げられている。 ・ 2017 年に設置された人工知能技術戦略会議は、2018 年に統合イノベーション戦略推進会議のもとで、イノベーション政策強化推進のための有識者会議 「AI 戦略」 (AI 戦略実行会議) がイノベーション政策強化推進チームを通じて提言を行う体制となった。 ・ 官民 ITS 構想ロードマップ 2018 : 2020 年までに世界最先端の ITS、高度な自動運転 (レベル 3 以上) の実現が提示されている。 ・ デジタル化・ネットワーク化の進展に対応した柔軟な権利制限規定の整備等を目的として、著作権法の一部が改正され 2019 年施行予定となっている。 ・ 改正個人情報保護法により匿名加工情報の定義が明確になりデータ活用が期待される。また、医療データについては、次世代医療基盤法も整備された。 ・ 拡大版 SDGs アクションプラン 2018: 『SDGs と連動する 「Society 5.0」 の推進』 において (2019 年 1 月) での 「世界に先駆けて 「STI for SDGs ロードマップ」 を策定や 『SDGs を原動力とした地方創生、強靱かつ環境に優しい魅力的なまちづくり』 において 「SDGs 未来都市」 の推進が示された。 ・ 世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画 (IT 総合戦略本部、2018 年) : 電子政府やオープンデータについては、徐々に改善しているものの、行政手続のオンライン利用を含め、IT・データ利活用の中で官・民が共同で取り組むべき課題は多いとの認識のもと、「世界最先端デジタル国家」 へと目標を深化。 ・ 官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM) : 2018 年度に開始された PRISM では、革新的サイバー空間基盤技術 (AI / IoT / ビッグデータ)、革新的デジタル空間基盤技術 (センサ/アクチュエータ/処理デバイス/ロボティクス/光・量子) の領域において、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。2019 年以降のターゲット領域として、革新的データベース構築・利活用技術 (System of Systems)、革新的 ICT プラットフォーム技術 (サイバーセキュリティ/ネットワーク/プロセッシング) が検討されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2020 年度 NITRD は、研究対象領域 (PCA) として以下の 10 を優先投資分野としている。2018 年度から CHuman と CNPS と EdW が追加され、2020 年度は AI が追加されている。 ・ 人工知能 (AI) ・ 人のインタラクション、コミュニケーション、能力向上のためのコンピューティング (CHuman) ・ フィジカルシステムをネットワーク化するコンピューティング (CNPS) ・ サイバーセキュリティとプライバシー (CSP) ・ 教育と人材 (EdW) ・ ハイクイパビリティーコンピューティング・システムの研究開発 (EHCS) ・ ハイクイパビリティーコンピューティング・インフラと応用 (HCIA) ・ インテリジェント・ロボット工学と自律システム (IRAS) ・ 大規模データ管理と解析 (LSDMA) ・ 大規模ネットワーク (LSN) ・ 先進製造における米国リーダーシップのための戦略 (NSTC,2018) : 「国家安全保障と経済的繁栄の確保のための、産業セクターに亘る先進製造における米国のリーダーシップ」 をビジョンとして (1) 新たな製造技術の開発・移行、(2) 労働力の教育・訓練、(3) サプライチェーンの能力拡大を目標に掲げる。 ・ 国家サイバー戦略 (ホワイトハウス,2018) : サイバー空間の脅威から米国を守るための安全保障として、ネットワークや重要インフラの保護、知的財産の盗難防止などが挙げられている。 ・ 「5G 通信」 サミットを開催 (ホワイトハウス,2018) : 次世代の無線通信技術の速やかな実装に向けた政策について、省庁、議員、産業界等のを集めて議論。 ・ 「量子情報科学における米国リーダーシップ強化」 サミットを開催 (ホワイトハウス,2018) : 量子情報科学分野における米国の優位を維持向上させるため、産官学のリーダーを集めて議論。NSTC は 「量子情報科学に関する国家戦略総論」 を発表。 ・ AI 合同センター (Joint Center on Artificial Intelligence: JAIC) を設立 (DOD,2018) : AI 対応の機能展開を飛躍させ、それにより DOD 全体の AI 活動を同調化し、米国総合軍事力の運営上利点を促進。 ・ 「米国産業のための人工知能」 サミットを開催 (ホワイトハウス,2018) : AI 時代における米国のリーダーシップの維持に必要な政策について、産官学のリーダーを集めて議論 (R&D、人材育成、規制、分野別課題)。 ・ 国家科学技術会議 (NSTC) 下に AI 特別委員会を創設。 ・ 工学およびコンピュータ科学分野の若手研究者に 1 億 5,000 万ドルを投資。(NSF,2018) ・ 国家量子イニシアチブ法 2018 の導入 ・ 人工知能探索 (Artificial Intelligence Exploration :AIE) プログラムを開始 (DARPA,2018)
政策の企画・実施の主監省庁	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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)、官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM) 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。ICT 街づくり推進会議では ICT インフラの地域展開を検討 ・ 文部科学省: 理化学研究所内の革新統合研究センター (AIP) センターが 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。2017 年に改革 2020 ロボット社会実装プロジェクトに関するアクションプランを策定。 ・ 国土交通省: 2018 年に先進的技術を取り入れたスマートシティのモデル都市の構築を進めるため、「スマートシティの実現に向けて 【中間とりまとめ】」 を策定。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 科学技術政策局 (OSTP) 以下は、NITRD プログラム参画省庁のうち 2019 年度要求額 の上位 7 省庁 ・ 国立科学財団 (NSF) ・ 国立衛生研究所 (NIH) ・ 国防総省 (DoD) ・ エネルギー省 (DoE) ・ 国防高等研究計画局 (DARPA) ・ 米国航空宇宙局 (NASA) ・ 国立標準技術研究所 (NIST) ※省庁横断の枠組みとしてネットワーク情報技術 (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
政府支出 予算規模	909 億円 (2017 年実績 総務省統計局 科学技術研究調査報告 ²⁾)	・ 5.12B\$ (2017 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 ³⁾

¹ Fact Sheet: Administration Announces an Advanced Wireless Research Initiative, Building on President's Legacy of Forward-Leaning Broadband Policy <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2016/07/15/fact-sheet-administration-announces-advanced-wireless-research>

² 総務省統計局 科学技術研究調査報告 https://www.stat.go.jp/data/kagaku/kekka/kekkgai/pdf/30ke_gai.pdf

³ NITRD SUPPLEMENT TO THE PRESIDENT'S FY2019 BUDGET <https://www.nitrd.gov/pubs/FY2019-NITRD-Supplement.pdf>

欧州	中国	韓国
<p>【欧州連合】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Horizon 2020(2014) : 「卓越した科学」の FETs において ICT のインフラとなる先端技術として、グラフィック、ヒューマン・ブレイン、量子技術のプロジェクトがある。「産業リーダーシップ」においては、ICT は 6 つのキー技術の一つに指定されており、投資額は 76 億ユーロと群を抜いた多額の投資となっている。 ・ デジタル単一市場戦略 (2015) : デジタル技術によって提供される大きな機会を有効利用するために、EU 内のデジタル市場の単一化を目指す戦略である。同戦略の柱は、①欧州全体の消費者や企業によるデジタルグッズやサービスへのよりよいアクセス、②デジタルネットワークやサービスにとってより適した環境の創出、③デジタル経済の成長ポテンシャルの最大化、の 3 つである。 ・ Horizon Europe (Horizon 2020 の後継) : 欧州委員会のプロポーザルでは、「フロンティア研究の支援」、「社会的課題の解決」、「オープンイノベーション」の 3 本柱になっている。「社会的課題の解決」全体で 527 億ユーロのうちデジタル化・産業化に 150 億ユーロが要求されている。 <p>【英国】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 産業戦略 (2017) : ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS) から産業戦略が発表され、英国がグローバルな技術革命を主導できる 4 つの領域の一つとして「人工知能 (AI)」が特定されている。また、「将来の輸送手段」領域では、2021 年までに完全自動運転車が英国の路上で見られるようになることが期待されている。その他、同戦略では、生活能力を支える 5 つの基盤のうちの「インフラ」では、10 億ポンドの公共投資でデジタルインフラを増強する。 ・ 秋の予算編成方針 (2018) : 「生産性と技術イノベーション」が継続的なテーマとして取り上げられている。政府は産業戦略上の主要課題を支援し、人工知能 (AI)、核融合、量子コンピューティングのような新興技術における世界的リーダーとしての英国の地位を確保するための追加ファンディングを提供する。 <p>【ドイツ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ハイテク戦略 2025 (HTS2025) (BMBF,2018) : 未来のためのガイドラインとしてドイツにおける繁栄、持続可能な発展および生活の質を向上させることを目標に、研究とイノベーションを結集。未来技術の重点 7 領域に、人工知能、IT セキュリティ及びユーザーフレンドリーな技術、マイクロエレクトロニクス (通信システム、5G 通信技術)、および量子が含まれている。AI 戦略に関する連邦政府の基本方針の決定 (連邦閣議,2018) : AI の研究、開発、応用を世界トップレベルへの引き上げを狙う。 ・ デジタル戦略 2025 (BMW,2018) : 研究開発から産業促進まで含めた 10 項目の強化方針が示される。高速の光ファイバー網の整備、デジタル化における中小企業の投資促進、歴史の浅い技術企業およびスタートアップのためのイノベーション環境作り、「デジタル学習」戦略が含まれている。 ・ ドイツ・デジタルサミット (2018) : AI の環境整備、5G のグラスファイバー、欧州企業の連携の必要性について言及されている。 <p>【フランス】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ イノベーション審議会を設置 (2018) : イノベーション・産業基金による投資を促進し、フランスのイノベーション政策の主要な方針と優先課題を策定する任務を有する。イノベーション・産業基金が年 1 億 5,000 万ユーロのファンディングを行う。この一環として「人工知能による医学的診断の改善方法」「人工知能を活用するシステムの安全確保、認証、信頼性確保の方法」が採択された。 ・ 国立研究機構 (ANR) の 2019 年活動計画 (2018) : 国の戦略的優先課題として、「人工知能」「量子技術」が盛り込まれている。 ・ フランスを人工知能先進国とするための AI 戦略 (MESRI,2018) : 4 ~ 5 か所の本分野に特化した研究機関からなるネットワークを設置し、AI に関する世界最高レベルの研究ハブを構築し、官・民の研究者の交流を促進。これに基づき、政府は人工知能 (AI) の研究開発に関わる国家計画を発表した。2022 年までの 4 年間に総額 6 億 6,500 万ユーロを、エコシステムの整備、AI 人材の育成、ドイツの AI 研究機関との連携強化などに充てる。 ・ バリ人工知能研究機構 (PRAIRIE) 創設を発表 (CNRS,2018) : アカデミアと産業界の関心を結集し、人工知能研究の中核拠点となるバリ人工知能研究機構 (PRAIRIE) をバリに創設する旨を発表した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 中国製造 2025 (国務院,2015) : 基本政策としての主要な理念は「情報化と産業化の融合」で、「スマート製造」、「グリーン製造」を目標としている。10 の重点分野では、「次世代情報通信技術」が優先順位 1 位となっている。 ・ インターネット+(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 ・ 科学技術イノベーション第 13 次五カ年計画 (2016-2020) : 従来の科学技術五カ年計画と異なり、イノベーションを重視する姿勢がみられる。重大科学技術プロジェクトの実施 15 領域においては、①量子通信と量子コンピュータ研究、②脳科学と類脳研究、③国家サイバーセキュリティ研究、④天地球一体化通信網技術、⑤ビッグデータ技術、⑥インテリジェント製造とロボット技術が挙げられている。産業技術の国際競争力の向上 10 領域においては、②次世代情報通信技術、③先進製造技術、④先進交通技術、⑤ビジネスモデルの進化に資するサービス技術が挙げられている。基礎研究の強化の社会ニーズに向けた戦略的基礎研究においては、③マン・マシン融合に向けた情報通信技術、先進的基礎研究においては、②量子制御と量子情報も挙げられている。 ・ 第 13 次五カ年戦略的新興産業発展計画 (2016) : 1,000Mbps 光ネットの普及、4G 移動体通信の普及、5G 移動通信技術の開発、テレビ放送網とインターネットの融合、全国をカバーするビッグデータシステムの開発と安全管理、高性能 IC チップの開発、AI 技術などの重点領域が挙げられている。 ・ AI2030 (次世代人工知能発展計画) (国務院,2017) : 2030 年までに AI 理論・技術・応用の全てで世界トップとなり、中国が世界の「AI 革新センター」になる目標が示された。その後、工業・産業化部は 2017 年 12 月に「人工知能産業発展を促進するアクションプラン (2018-2020)」を発表した。次世代人工知能 (AI) 発展計画及び重大な科学技術プロジェクト始動会において第一期の国家次世代人工知能オープン・イノベーション・プラットフォームリストを公表した。また、「次世代人工知能発展計画推進事務局」及び「次世代人工知能戦略諮問委員会」を発足させることを公表した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第 4 次科学技術基本計画 (2018) : 「科学技術で国民の生活の質を高め人類社会発展に寄与」のビジョンが示され、重点科学技術として「複数の人工知能共通プラットフォーム技術」、「インテリジェントコンテンツ制作技術」と「システム SW 操作と基盤技術」が新たに重視される技術として示される。 ・ 「科学技術の発展が先導する第 4 次産業革命」: 「革新成長に向けた人中心の第四次産業革命対応計画」(I-KOREA4.0) (2017) : 知能化に基づく産業の生産性とグローバル競争力を向上し、慢性的な社会問題の解決を通じて生活の質を高め、成長エンジンに連結。 ・ 人工知能 R & D 戦略 (2018) : 世界水準の人工知能技術力を早期に確保するため、今後 5 年間 ('18 ~ '22) に 2.2 兆ウォンの投資を通じて、技術力確保と最高級人材を育成するとともに、開放的な協力型研究基盤を造成する。 ・ 第 2 次国家超高性能コンピュータ育成基本計画 (2018) : 「第 4 次産業革命対応超高性能コンピュータ能力の確保」をビジョンに、3 つの推進戦略を提示している。①様々な分野での超高性能コンピュータの活用拡大②将来の需要に備えた超高性能コンピュータ・インフラの確保③超高性能コンピュータ分野自らの源泉技術の確保 [1 段階 : 1PF システムの開発 (~ '22 年), 2 段階 : 30PF システムの開発 (~ '25 年)]
<p>【欧州連合】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 <p>【英国】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS) : 政府民生研究開発資金の多くは BEIS 及び BEIS 傘下の機関より支出 ※ BEIS 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 1 つがデジタルエコノミー (産業と社会の転換)⁴⁾ である <p>【ドイツ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 <p>【フランス】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高等教育・研究・イノベーション省 (MESRI) : 高等教育及び研究に係る政策、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当 ※ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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務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 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 科学技術情報通信部 : 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 (NRF)、公的研究機関、KAIST 等の理工系の特殊大学などを所管。情報通信技術 (ICT) と科学技術分野のコントロールタワーとして位置づけられ、また第 4 次産業革命を絡括する機関とされている。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 約 3.2B € (2016-2017, 2 年間) ※ Horizon2020 の Work Programme 2016-2017 の IT 関連予算⁵⁾ 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) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 331 億元 (2016 年) ※ 中国科学技術統計年鑑における研究開発機関及び大学において実施された研究開発プロジェクトにおけるプロジェクト支出額 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2,570 億ウォン (2017 年) ※ 未来創造科学部の情報通信・放送分野研究開発事業の総額⁶⁾

⁴⁾ 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>

⁵⁾ 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>

⁶⁾ マルチメディア振興センター ICT ワールドニュース <https://www.fmmc.or.jp/activities/worldnews/ictnews.html>

1.2.4 研究開発の動向

システム・情報科学技術分野における、世界および日本の研究開発の歴史と現状について述べる。まず当分野の全体像を 1.1.2 で挙げたトレンドを踏まえて概観し、続いて俯瞰区分ごとの具体的な歴史背景や動向を俯瞰する。

システム・情報科学技術の進化は、技術の広がりや軸として図 1-2-14 のように捉えられる。全体を支える基盤は、1960 年代のメインフレームの時代から続くハードウェアの進歩である。とくに、半導体微細加工技術の進歩によりプロセッサや通信機器は指数関数的な性能向上を半世紀以上も続け、様々な機能を支えてきた。しかしながら、「ムーアの法則」の限界が見え始めてきた 2010 年代からポスト・ムーア時代に必要となる革新的コンピューティングを考える機運が高まっており、長期的なテーマとして量子コンピューティングに注目が集まっている。

このような基盤的なハードウェアの進化を足がかりとして、システム・情報科学技術の潮流として 1.1.2 で挙げた「スマート化」「システム化・複雑化」「ソフトウェア化・サービス化」のトレンドが積み重なる。

歴史的には「システム化・複雑化」の波から始まる。1990 年代にインターネットが普及し多数の計算機がネットワークで接続された大規模なシステムが現れた。AI システムでは 1980 年代の第 2 次 AI ブームが巻き起こり、エキスパートシステムなどの実用化が進んだ。AI が人間のチェス王者に勝利したというエポックは記憶に新しい。今後のシステム化・複雑化トレンドの動向としてはネットワークロボットやソフトロボティクスなどロボティクス分野で大きな動きがあるとみられる。

「ソフトウェア化・サービス化」の流れは瞬く間に世界中に広がり、多くのサービスはインターネットの存在を前提とするようになった。スマートフォンの普及とも重なり、クラウドとエッジというアーキテクチャの上で様々なサービスが創出され、API エコノミーなどの言葉も登場した。インターネット上の大量データやコンピューティングパワーの拡大を背景として、深層学習をはじめとする様々な機械学習手法を利用した AI システムが普及し始めた。自動運転は典型的な AI システムである。この流れの先では、近い将来さまざまな AI システムの安全性や品質を保証するための AI ソフトウェア工学が必要となると考えられる。

「スマート化」のトレンドでは、先述した深層学習が一部のタスクでは人間に追いつき、さらには人間を上回る性能を示したことなどを契機とし、画像認識、音声対話、自然言語処理などの研究開発が活発化している。それらを統合的にシステム化する典型的な例は自律ロボットであろう。また、ブロックチェーン技術を用いた契約や価値移転のスマート化、IT によるさまざまな意思決定・合意形成の支援など、社会要請の観点からもスマート化のトレンドには今後も注目が必要である。以下では俯瞰区分ごとの動向を見る。

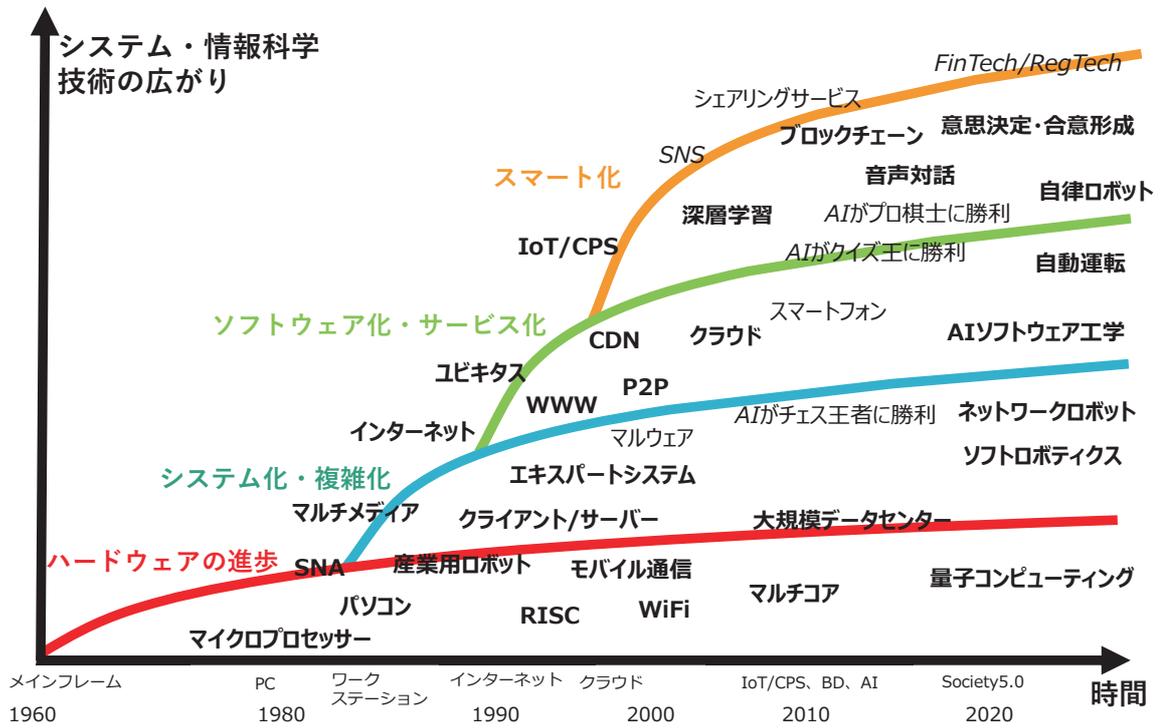


図1-2-14 システム・情報科学技術の進化

(1) 人工知能・ビッグデータ

「人工知能・ビッグデータ」区分では人間の知的活動（認識、判断、計画、学習等）をコンピューターで実現するための技術群である人工知能（Artificial Intelligence: AI）技術と、大規模性・不確実性・時系列性・リアルタイム性等に対応できるデータの収集・蓄積・解析技術を取り扱う。

図 1-2-15 に示したように、第 1 次 AI ブーム（1950 年代後半から 1960 年代）に AI に関わる基礎的概念が提案され、AI が新しい学問分野として立ち上がった。第 2 次 AI ブーム（1980 年代）では、人手で辞書・ルールを構築・活用するアプローチが主流となり、エキスパートシステム、指紋・文字認識、辞書・ルールベース自然言語処理等（カナ漢字変換等）が実用化された。現在は第 3 次の AI ブームを迎え、インターネットやコンピューティングパワーの拡大を背景として、一部のタスクでは人間に追いつき／上回る性能を示し、さまざまな AI 応用システムとして社会に普及し始めている。また、センサー、IoT（Internet of Things）デバイスの高度化と普及によって、さまざまな場面で実世界ビッグデータが得られるようになった。収集・解析技術は、実世界で起きる現象・活動の状況を精緻かつリアルタイムに把握・予測するための技術としても期待される。

AI とビッグデータは深く関係し合いながら発展している。ビッグデータによって AI 技術（特に機械学習技術）は高度化し、精度を高め、その AI 技術を用いて実世界のビッグデータを解析することで、実世界の現象・活動のより深く正確な状況把握・予測が可能になってきた。

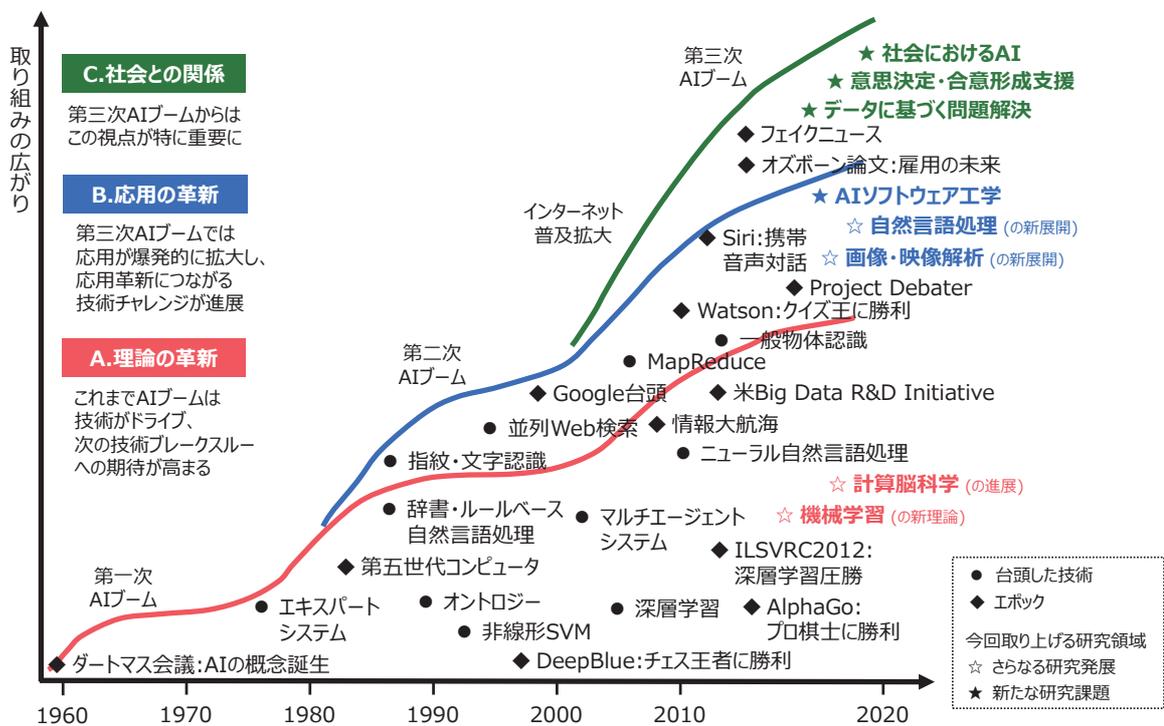


図1-2-15 「人工知能・ビッグデータ」区分の俯瞰図(時系列)

(2) ロボティクス

「ロボティクス」区分は、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、安心安全でQoL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。研究開発の大きなトレンドとして、IT、特に人工知能技術とロボティクスの融合により、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る。

ロボットは、1962年の産業用ロボットに始まり工場内の工程の自動化の実現を目指し、画像認識や学習機能を実装することで定型的な作業を正確に休まず実施できるレベルになってきた(図1-2-16)。また人間や動物の運動能力を模倣するロボットも登場し、90年代になると産業ロボットだけでなく、一般社会や家庭で働く知能ロボットの研究開発が盛んになった。2000年代に入ってロボットの適用はさらに広がり、手術支援ロボットやロボット掃除機も開発された。また、2010年代には一段と進歩した人工知能を搭載し自らの行動を判断、決定し動作する知能ロボットが、家庭用ロボットや人型ロボットとして、人間と知的なインタラクションが可能なパートナーとして存在に期待が高まっている。以上のトレンドは、技術の発展、実社会への浸透、および、人間との共生という3つの観点で捉えることができる。

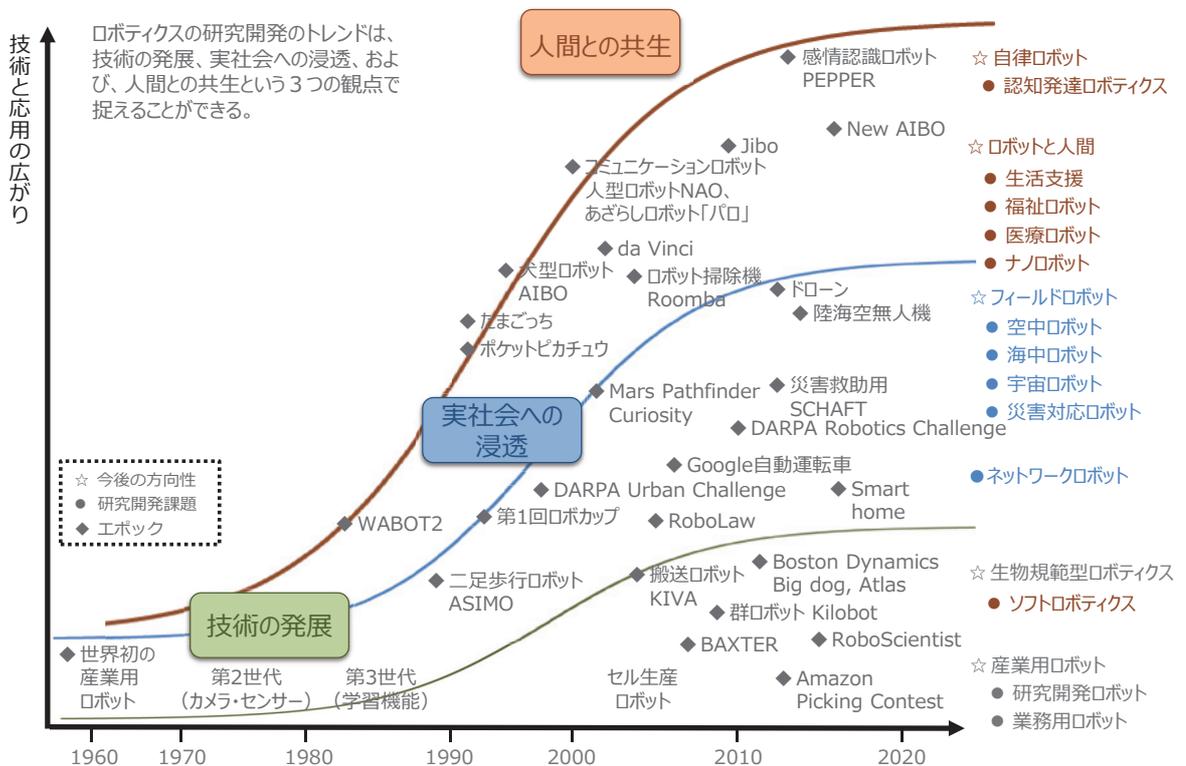


図1-2-16 「ロボティクス」区分の俯瞰図(時系列)

(3) 社会システム科学

「社会システム科学」区分は、我が国が目指すべき未来社会の姿として提唱された Society 5.0 において実現されるように、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させることによって、経済発展と社会的課題の解決を両立しようとする社会における社会システムに関する研究開発領域である。社会システム科学とは Society 5.0 における社会システムの安定的な挙動に向けた、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システム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、社会システム科学の必要性が増してきている。

技術としては IT ハードウェアの進歩に基盤を置き、図 1-2-17 に示したように 1980~90 年代の PC やインターネットの普及に従って、社会システムはクロードシステムからネットワークで接続された巨大で複雑なオープンシステムへと発展した。また、ソフトウェア化・サービス化が進み、事業体内での最適化から複数事業体間での最適化も可能となり、都市規模の最適化へと向かっている。e コマースやオンラインバンキング、API エコノミーなど IT のスコープはさらに拡大を続けている。IT が格段に普及してもそれを扱う社会の仕組みは数十年変わらないことや、既存の法制度や商慣習のために新技術や新サービスの社会適用が阻まれるなど、既存の社会システムの進展と IT の進展との間の齟齬が顕在化し始めている。

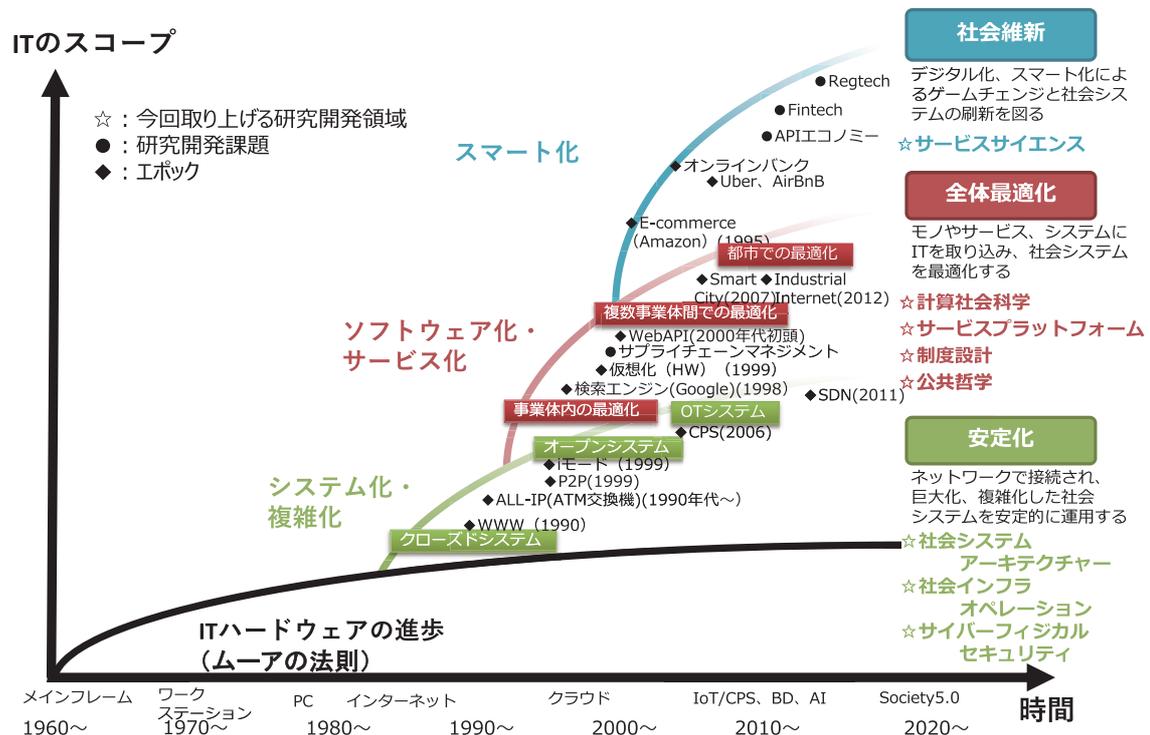


図1-2-17 「社会システム科学」区分の俯瞰図(時系列)

（４）コンピューティングアーキテクチャ

「コンピューティングアーキテクチャ」区分における研究開発動向は、1台のコンピューターを使うところに始まり、図1-2-18のとおり、連携の広がり観点から捉えることができる。1960～70年代には企業内でのコンピューターネットワークであったが、2000年代には大規模データセンターが各地に建設されるまでになり、CPU、記憶装置、通信装置などを適切に配備し運用するための技術開発が行われている。

1990年代にインターネットが普及するにつれ、ネットワーク接続されたコンピューティング環境が広く一般に使われるようになってきた。特に、クラウドが一般的になり、スマートフォンなどのデバイスとクラウドの組み合わせによりさまざまなサービスが提供されるようになり、そのためのソフトウェア基盤整備も進んだ。また、IoT/CPSと言われる、フィジカル世界とサイバー世界の融合領域においては、柔軟な構成を可能にするIoT/CPSアーキテクチャが重要になる。特に、フィジカルデバイス付近で処理を行うエッジコンピューティングは今後の発展が望まれる。

上位のサービスや応用と、コンピューティングを接続するのがサービスプラットフォームである。上位層から見て、このプラットフォームの出来栄が、提供できるサービスの品質を大きく左右することになる。北米を中心とする大手ITサービス企業は、多面的市場を対象としたプラットフォームを掌握し、スケーラブルなビジネスを実現している。このような動きがIoT/CPSを通じて、フィジカル世界にも広がることは容易に想像される。今後のあらゆるビジネスにおいて最も重要なレイヤーになる可能性がある。

UBERやAirBnBに代表されるシェアリングサービスが広まり、今後もさまざまな局面でシェアリングやマッチングのサービスが広まると期待される。ブロックチェーンを利用した仮想通貨やスマートコントラクトなど、連携の広がり観点で新たな展開も見せつつある。新しい応用を考えることが、下位層のサービスプラットフォームや分散処理基盤に対して大きな影響を与える。必ずしも新たな応用のすべてが予想できるわけではないが、その可能性を検討しておくことは、今後のコンピューティングアーキテクチャの方向性を考えるうえで役に立つであろう。

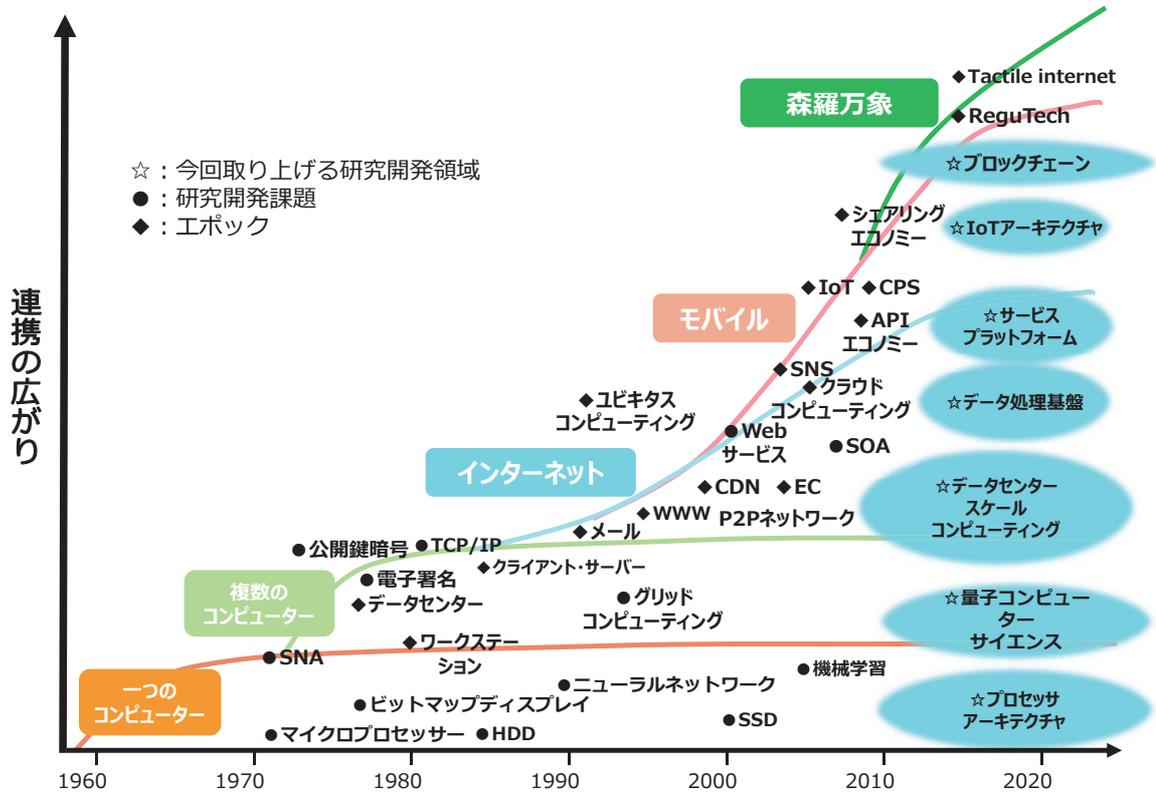


図1-2-18 「コンピューティングアーキテクチャ」区分の俯瞰図(時系列)

1.2.5 社会との関係における問題

「研究開発の俯瞰報告書 統合版（2019）」（仮称）を踏まえ、当分野における、環境・健康・衛生・安全（EHS）、倫理・法律・社会的問題（ELSI）、科学技術と社会をつなぐサイエンス（トランス・サイエンス）などについて世界および日本の現状を以下の項目を挙げて具体的に述べる。

（1）IT と ELSI（人工知能以前、人工知能以後）

人工知能や知的ロボットなど知的情報処理技術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（ELSI: Ethical, Legal, and Social Issues）な視点での考慮は不可欠である。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¹。

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洩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OECD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、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。並行して学术界でも、水谷雅彦らによるプロジェクト「情報倫理の構築（FINE）」（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。

情報セキュリティとはコンピュータシステムをさまざまな攻撃から守って安全性を確保することである。インターネットが普及して企業内の情報システムや社会システム、重要インフラの制御システムがつながるようになり、サービス妨害、サイバー攻撃、マルウェア、標的型攻撃など、攻撃の手口は高度化・悪質化する一方で、対策も講じられているが、脅威と損害の規模はますます大きくなる傾向にある。わが国では、1990年に通商産業省が「コンピュータウイルス対策基準」を公布し、1996年には、インターネットを介して発生する不正侵入やサービス妨害などに対応するためにJPCERT/CC²が設立された。その後、不正アクセス行為の禁止等に関する法律（1999年）やサイバーセキュリティ基本法（2014年）を経て、2015年の内閣サイバーセキュリティセンター（NISC³）の設立に至る。

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（ラッドライト運動）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は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。特に、自動走行は、ロボットの3大要素で

¹ 小林傳司『トランス・サイエンスの時代 科学技術と社会をつなぐ』NTT出版、2007

² コンピュータ緊急対応センター（JPCERT/CC: Japan Computer Emergency Response Team / Coordination Center）

³ National center of Incident readiness and Strategy for Cybersecurity

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、倫理や法的な問題の議論を巻き起こしている。

人工知能は、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、コンピューターの計算能力が全人類の脳を超える「技術的特異点」、シンギュラリティー (Kurzweil⁴) 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。哲学者が超知性体 SuperIntelligence の脅威 (Bostrom⁵) 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术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。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) という直近の現実的な指摘から、人工知能だけでなくナノテク・バイオテクノロジーを含めた科学技術全般のさらなる進化による人類 (ヒューマニティー) の進化、いわゆるポストヒューマニティー問題や人類の未来はいかなる世界になるか、また、それにどう備えておくべきかという壮大な問題が提起されている (Fuller⁶、Harari⁷)。

(2) ELSI として想定される問題

前述した統合版における俯瞰の前提にも、これらの問題は一旦、技術進歩が社会に取り込まれて普及し始めると問題点が表面化してもそれを止めるルールや手段がないという事態になりやすく、予め、来るべき問題を想像することの重要性が高まっているとある。では、具体的にどのような問題が想定し得るであろうか。表1-2-3に2013年にJSTにて開催したワークショップ⁸の議論の結果ベースに今回あらたに追記した結果を示す。なお、情報セキュリティに関わる課題についてはすでに顕在化している課題が多いためここでは割愛する。

表1-2-3 想定される問題

倫理的・法的・社会的課題の分類	想定される問題
A) 新たな犯罪	<ul style="list-style-type: none"> ・ハッキングされた機械やシステムによる詐欺や盗聴・盗用 ・ユーザーの個人情報を用いた詐欺、恐喝 (オレオレ詐欺など) ・フェイクニュース、デマによる実質的な被害
B) 個人情報とプライバシー	<ul style="list-style-type: none"> ・個人に関わる情報の利活用に関するさまざまな問題 ・EUの一般データ保護規則への抵触 ・機微情報の扱い、非言語情報の多くはプライバシー情報 ・看視と監視 (監視カメラや通行履歴など) ・平時や非常時 (災害、犯罪、国防など) の使い分け
C) 知の所有権	<ul style="list-style-type: none"> ・知の断片化の促進と専門知の経済基盤の流動化 ・二次情報、三次情報の所有権、知のエコシステム、AIの著作物
D) 機械の判断と責任	<ul style="list-style-type: none"> ・機械の判断の正当性・妥当性の担保 ・機械の法的電子人格 ・結果に対する責任の帰着、責任のトップは人間だけか
E) 機械の自律性	<ul style="list-style-type: none"> ・自律的に動作する機械をいかに制御するか ・判断・推論の信頼性の保証

⁴ Kurzweil, Ray, "The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology", 2006

⁵ Bostrom, Nick, "Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies", 2014

⁶ Steve Fuller, "Humanity 2.0: What it Means to be Human Past, Present and Future", 2011

⁷ Harari, Yuval Noah, "Homo Deus: A Brief History of Tomorrow", 2016

⁸ 知のコンピューティングと ELSI/SSH」. CRDS-FY2014-WR-09, 2014

F) 人間の自由意志	<ul style="list-style-type: none"> ・個人や集団の合意形成や意思決定の制御・誘導 ・選挙や国民投票への介入
G) アイデンティティ	<ul style="list-style-type: none"> ・サイバー上の情報やプロファイリングによる虚像 ・それに基づく不公平や差別の助長 ・情報の標準化による個性の喪失
H) 労働や雇用	<ul style="list-style-type: none"> ・機械により奪われる雇用問題、 ・実践知の蓄積による名人・職人の雇用喪失
I) 人間と機械の新たな関係	<ul style="list-style-type: none"> ・技術の進歩に人間はどう対応すべきか（抑制か活用か） ・社会システムの技術への過剰依存 ・ポストヒューマニティー
J) 格差の助長や機械による人類の支配	<ul style="list-style-type: none"> ・情報リテラシーの有無によるデバイドや格差の拡大 ・スーパーヒューマニティーの出現と無用者階級

これに対して、実際に発生したインシデントを表 1-2-3 の分類に即して時系列的に列挙したものを表 1-2-4 に示す。想定がすでに現実になっているのが見て取れる。これに対していかなる取り組みをなすべきか。以降、米国、欧州および我が国の取り組みをみてみよう。

（3）海外の取り組み（米国、欧州）

米国では、産業界が主導して ELSI に取り組んでいる。特に企業から多額の投資が行われている。倫理に関しては 1980 年代から継続して取り組んだ情報倫理学も 2002 年には完了した。Google に設立されたという倫理委員会も実体は見えないままである。法的課題については、特に新しい法律を作るというよりも既存の法律の運用で対応するように見える。これに比して社会的課題に対しては、企業、大学とも活動が活発である。Kurzweil の設立した Singularity University は学位を授与する大学ではなく教育も行う一種のシンクタンク兼ビジネスインキュベーターである。MIT の Brynjolfsson は 2011 年と 2014 年に 2 冊の本で人間と機械の新しいあり方について論じた。Stanford 大学では AI100 プロジェクトで 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。

特筆すべきは 2014 年に Jaan Tallinn（Skype 共同創始者）らにより米国ボストンに設立された The Future of Life Institute である。科学アドバイザーに、Nick Bostrom、Elon Musk、Steven Hawking など人工知能の開発に懸念を示す有識者も名を連ねるが、設立のミッションは「安全で明るい未来を作るための研究とイニシアティブを推進する」というもの。研究開発の優先順位や自動機械に関するオープンレターの発信や、寄付金を基金とした研究開発の助成を行うなど積極的に活動を展開している。また、2017 年 1 月にはアシロマにて 2 回目の総会を開催し、議論した結果を、ASILOMAR AI PRINCIPLES⁹ として発表した。

少し遅れて学会での取り組みが始まった。2016 年 12 月に全米電気電子学会（IEEE）Global Initiative は、「Ethically Aligned Design: A Vision for Prioritizing Human Wellbeing with Artificial Intelligence and Autonomous Systems」の第 1 版を公開し、以後活発に活動している。また、ACM SIGAI¹⁰ は、AI が人々や社会に浸透し影響力を増していることを背景に、倫理や社会的問題（Value alignment、データの扱いとバイアス、法制度、雇用）に対する、マルチディシプリナリーかつマルチステークホルダーな取り組みが必要との認識から「人工知能と倫理・社会に関する会議」を 2018 年から全米人工知能学会¹¹ に合わせて開催している。

⁹ ASILOMAR AI PRINCIPLES, <https://futureoflife.org/ai-principles/>

¹⁰ Association for Computing Machinery Special Interest Group on Artificial Intelligence

¹¹ AAAI Conference on Artificial Intelligence

欧州では、欧州委員会が主導してファンディングとりまとめを行っている。1991年から活動する欧州科学技術倫理グループはさまざまな倫理的問題を調査研究している。EU FP7の下では、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。FHI は、人類とその繁栄に関する全体像を扱う多くの学問領域にまたがる研究機関として 2005 年に設立され、“SuperIntelligence” の著者として著名な哲学者 Nick Bostrom が所長を務める。

欧州連合は、2016 年に発効した一般データ保護規則（GDPR¹²）を 2018 年 5 月に施行した。従来のデータ保護指令が各国に裁量を持たせていたのと異なり、EU 域内で统一的に適用される。GDPR の目的はすべての EU 市民をプライバシーとデータの侵害から保護することである。適用範囲、罰則、同意、データ主体（個人）の権利（違反通知、アクセス権、忘れられる権利、データのポータビリティ）、プライバシーバイデザインが規定されている。GAF A (Google, Apple, Facebook, Amazon) による個人情報の独占に対する EU の挑戦である。

（４）国内の取り組み

日本では、政府と学术界が主導して次のような取組みが行われている。経産省・NEDO による「生活支援ロボット実用化プロジェクト」にて生活支援ロボットの安全性に関する検討を実施し、ISO13482「生活支援ロボットの国際安全規格」発行した（2014）。人工知能に関しては、内閣府が「人工知能と人間社会に関する懇談会」（2016）、総務省が「AI ネットワーク社会推進会議」にて「国際的な議論のための AI 開発ガイドライン案」を公開するなど活発に議論が行われている。また、学术界では、江間有沙らが「人工知能が浸透する社会を考える研究会」として AIR (Acceptable Intelligence with Responsibility) を立ち上げた（2014）。2014 年には、人工知能学会に倫理委員会が発足し、公開討論を経て、2017 年には「人工知能学会倫理指針」を発表した。人工知能研究者の行動に対する指針に加えて、最後の第 9 条で人工知能の倫理順守への要請が規定されていることが特徴的である¹³。

（５）JST の取り組み

2013 年開始の CREST 「人間と調和した創造的協働を実現する知的情報処理システムの構築」では研究総括の萩田紀博（国際電気通信基礎技術研究所）の方針により ELSI への取組みを採択の条件とするなど研究者に ELSI を主体的に考える機会を与え続けている。CRDS では、2014 年に「知のコンピューティングと ELSI/SSH」ワークショップを開催し、知のコンピューティングに関わる ELSI の論点を議論した。その後も AAAS2015 や ESOF2016 にて国際的な議論を展開している。JST 社会技術研究開発センター（RISTEX）では 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相互作用の形成を目指している。

¹² General Data Protection Regulation, <https://eugdpr.org/the-regulation/>

¹³ 人工知能学会 倫理指針について http://ai-elsi.org/report/ethical_guidelines

表1-2-4 実際に発生したインシデントの例

【B】元 NSA 局員のエドワード・スノーデンが、アメリカ合衆国や全世界に対する NSA の『PRISM』による盗聴の実態と手口を内部告発した（2013、米国）[AFP]
【B】JR 東日本が交通系 IC カード「Suica」の乗降履歴を日立製作所に販売し、利用者やマスコミから大きな反発を受けた（2014、日本）[日経ビジネス]
【B】NICT が JR 大阪駅の利用客をカメラを使って追跡して動線を把握する実験について、市民や有識者から不安の声や中止の要請が寄せられ延期した。（2014、日本）[日経 XTECH]
【G】世界初！ロシアのスーパーコンピュータプログラムがチューリングテストに合格（2014、英国）[AFP]
【F】Facebook でニュースの内容がユーザーの感情形成に影響を与えるかどうかという感情操作実験（2014、米国）[Techcrunch]
【B】サムスン製スマート TV が視聴者の日常会話を収集していることが判明（2015、米国）[CNN]
【A】Microsoft の Twitter でデビューさせた人工知能 Tay が、徐々に人種差別的だったり暴力的な発言が多くなり、デビュー後数時間で停止した。（2016、米国）[ITmedia]
【D】テスラ「Model S」の運転者がトレーラートラックと衝突して死亡した（2016、米国）[WIRED]
【F】Facebook が性格診断アプリケーションをつかって収集した約 5,000 万人分のデータが、ケンブリッジアナリティカ社に売却され、プロファイリングと親トランプ的な素材を送り届けるのに利用されたと言われている。（2016、米国および英国）[BBC ニュース]
【I】米ジョージア工科大学の AI 教育助手 Jill Watson に、学生は気づかず（2016、米国）[Wall Street Journal]
【B】ネットに接続された子供向けのおしゃべり人形 Cayla の使用を禁止（2017、ドイツ）[AFP]
【E】NY 証券取引所でフラッシュクラッシュ（2017、米国）[日経]
【H】Amazon GO の 1 号店がアメリカ・シアトルにオープン（2018、米国）
【B】Amazon Echo がプライベートな会話を記録して知り合いに送る（2018、米国）[kiro-TV]
【D】Amazon の採用 AI ツール、女性差別でシャットダウン（2018、米国）[REUTERS]
【D】ウーバー車両、自動運転で死亡事故 米で歩行者はねる（2018、米国）[日経]
【H】ゴールドマン銀行、株式デスクに生身のトレーダー 3 人—昔は 500 人（2018、米国）[Bloomberg]
【B】フランス規制当局が Google に 50M ユーロの罰金。プライバシー情報に関する説明の不透明性などが GDPR 違反（2019、フランス）[CNIL]

※ カッコ内の記号は表 1-2-3 の分類による：(A) 新たな犯罪 (B) 個人情報とプライバシー (C) 知の所有権 (D) 機械の判断と責任 (E) 機械の自律性 (F) 人間の自由意志 (G) アイデンティティ (H) 労働や雇用 (I) 人間と機械の新たな関係 (J) 格差助長や機械の支配

1.3 今後の展望・方向性

1.3.1 今後重要となる研究の展望・方向性

「1.2.4 研究開発の動向」に挙げたシステム・情報科学技術分野の動向を大局的に捉え、かつ、区分ごとの歴史背景と潮流を踏まえ、今後重要となる研究の展望と方向性を以下に区分ごとに述べる。

(1) 人工知能・ビッグデータ

この区分における技術発展は、「理論の革新」「応用の革新」「社会との関係」の3つの大きな流れで捉えられる。「理論の革新」の流れの中で、過去3回のAIブームはいずれも理論面の発展（知識表現・記号処理、辞書・ルールベース処理、機械学習・深層学習等）やコンピューティングパワーの増大等の技術進化によってドライブされた。第2次AIブーム以降は実用的な応用が生まれ始め「応用の革新」の流れとして、ビッグデータの高速並列処理・知識処理の実用化が進んだ。第3次AIブームでは、機械学習の応用分野が爆発的に拡大した。このような理論や応用の革新という流れの中で「機械学習」「計算脳科学」「画像・映像解析」「自然言語処理」の4研究開発領域は、技術的にはこれまでも取り組まれてきたテーマではあるが、さらなる研究発展の勢いが感じられるものとして注目される。

また、「社会との関係」の流れは第3次AIブーム以来、活発に議論されるようになった視点である。これは、AI技術のさまざまな応用が社会に広がったことに加えて、AI技術の可能性が人間にとって恩恵だけでなく脅威や弊害ももたらし得るという懸念が強まったことによる。「応用の革新」と「社会との関係」の流れの中で、新たな研究課題として立ち上がりつつあるものとして、「AIソフトウェア工学」「データに基づく問題解決」「意思決定・合意形成支援」「社会におけるAI」の4つが戦略的な重要度が高い研究開発領域として挙げられる。

(2) ロボティクス

研究開発のトレンドは、「技術の発展」「実社会への浸透」「人間との共生」という3つの観点で捉えることができる。画像認識や学習機能の実装によって産業用ロボットは工場内の定型作業を正確に休まず実施できるレベルに発展し、人間や動物の運動能力を模倣するロボットも登場した。一般社会や家庭で働く知能ロボットの研究開発も盛んになり、手術支援ロボットやロボット掃除機など技術の発展は実社会へのロボットの浸透を促した。これらのトレンドの中では「ソフトロボティクス」「生物規範型ロボット」「産業用ロボット」「研究開発用ロボット」「ナノロボット」が注目される。加えて、「実社会への浸透」の観点から重要である、実環境における作業で活躍するロボット（フィールドロボット）として「海中ロボット」「宇宙ロボット」「インフラ保守・建設」「災害対策ロボット」を戦略的な重要度が高い研究開発領域として挙げる。

「人間との共生」の観点では一段と進歩した人工知能を搭載することで自らの行動を判断・決定し動作する知能ロボットや、家庭用ロボットや人型ロボットとして人間と知的なインタラクションが可能なパートナーとしてのロボットの登場に期待が高まる。人間行動の理解に基づく適切な介入、人間とロボットの協働を前提に労働のモジュール化と人間の参加を促進するプラットフォームの構築などに貢献するロボティクス技術として、「認知発達ロボティクス」「生活支援ロボット」「医療ロボット」が注目に値する。

(3) 社会システム科学

この区分における3つの技術発展のトレンド「システム化・複雑化」「ソフトウェア化・サービス化」「スマート化」はそれぞれ「安定化」「全体最適化」「社会維新」の方向への発展が期待される。社会システムとして取り上げるべきテーマとして、まずはネットワークで接続され巨大化・複雑化した社会システムを安定的に運用するための「社会インフラオペレーション」「サイバーフィジカルセキュリティ」「社会システムアーキテクチャ」の3研究開発領域が挙げられる。

また、Society 5.0の実現に向けては、モノやサービス、システムにITを取り込むことによる「全体最適化」の方向性が極めて重要である。これには、技術のみならず「計算社会科学」や「制度設計」といった最適化（デザイン）のためのフレームワークの設定が求められる。そして、その上で、デジタル化・スマート化によるゲームチェンジと社会システムの刷新を図る「社会維新」に向けた研究開発戦略が求められる。本俯瞰報告書ではそのような、サービスに関わる科学的な概念・理論の構築、サービス提供のためのシステムマネジメント技術、構築のためのエンジニアリング技術などを含む「サービスサイエンス」と「社会システムアーキテクチャ」を戦略的に重要な研究開発領域として挙げる。

(4) コンピューティングアーキテクチャ

この区分における科学技術および応用の方向性は、連携の広がり観点から「一つのコンピューター」「複数のコンピューター」「インターネット」「モバイル」「森羅万象」という大きな5つの流れで理解できる。「一つのコンピューター」の流れの中では、ムーアの法則が限界に達しつつあるとの懸念から「プロセッサアーキテクチャ」「量子コンピューターサイエンス」の重要度が増している。

また、インターネットの社会浸透を背景にクラウドコンピューティングやIoTに期待が集まり、コンピューター単体とは異なる技術が求められる「データセンタースケールコンピューティング」、処理内容に応じて柔軟な構成を実現する「IoT/CPS アーキテクチャ」や「データ処理基盤」の技術発展の必要性が増してきている。また、スマートフォンなどのデバイスとクラウドコンピューティングの組み合わせにより様々なサービスが提供されるようになり、サービスや応用と、コンピューティングを接続する「サービスプラットフォーム」は、今後あらゆるビジネスにおいて最も重要なレイヤーとなる可能性があるため、注視が必要な研究開発領域である。

加えて、ITの「森羅万象」への連携の広がりの中で、現在注目を集めている仮想通貨以外にも様々な応用可能性を持っている「ブロックチェーン」に、暗号技術や分散システム技術の方向性を探索することは、研究開発戦略として有意義であろう。

1.3.2 日本の研究開発の現状と課題

前節まで、システム・情報科学技術分野を4つの区分に分けて、分野の動向を俯瞰し、研究開発領域の発展の方向性を述べた。また、分野の動向の俯瞰では、社会・経済の動向も含めた日本の置かれた環境、現在の日本の取り組み状況やポジションについても述べた。

上述の方向性は日本に限らず、世界各国が競って取り組んでいる方向性である。その中で日本が国際競争力を構築・維持していくため、あるいは、国として自立した安全安心な社会を維持していくためには、単に技術発展の方向性だから取り組むというのではなく、国際競争力を構築するための作戦・シナリオや、国として取り組むべき意義を明確に持った研究開発投資戦略が必要である。

そこで、本節ではまず、国際競争力を構築するための作戦・シナリオ、国として取り組むべき意義として、4つの基本的な考え方を示す。

(1) 強い技術を核とした骨太化

既に保有している、あるいは、育ちつつある強い技術を足掛かりとして、技術の国際競争力を骨太化する作戦・シナリオである。例えば、最先端研究開発支援プログラム FIRST、革新的研究開発推進プログラム ImPACT、戦略的創造研究推進事業 CREST・ERATO 等で生み出した中核技術に、周辺技術をかけあわせて、強みを出させる技術領域を拡大・強化するといった作戦・シナリオがその一例である。

(2) 強い産業の発展・革新の推進

既に保有している、あるいは、育ちつつある強い産業を足掛かりとして、国際競争力のある技術群を育てる作戦・シナリオである。日本に強みのある産業において、現存する課題や将来直面する課題を見極め、それらを解決するための技術開発を推進し、その成果を産業に投入していくことで、その産業とそれを支える技術群の競争力を育成・拡大する。その際に、インクリメンタルな課題解決・技術改良だけでなく、サービス産業の生産性向上も含め、国際競争力を維持できるように産業構造・産業基盤を革新するような技術も、視野に入れて取り組むことが必要である。

(3) 社会課題の先行解決

課題先進国として、先端技術の社会受容性で先行できることを活かして、国際競争力を構築する作戦・シナリオである。日本は課題先進国と言われ、特に人口減少・少子高齢化の問題が深刻なものとして認識されているとともに、震災を通して環境問題・省エネ対応等への取り組み意識が高い。このような日本の状況は、人手作業の自動処理への置き換えや、環境問題・省エネ対応等に伴う生活パタンの変化等への抵抗感が他国に比べて少ないという点で有利である。つまり、この種の社会課題解決のための先端技術導入・環境変化に対する社会受容性の面で、他国に先行できるチャンスがある。そして、社会課題の先行解決ができれば、それを日本に遅れて同様の社会課題に直面していくであろう他国に事業展開していくことが狙える。

（４）社会基盤を支える根幹技術確保

社会基盤を支える根幹技術は、国として保有・強化しなくてはならないという考えである。今日、あらゆる技術を自前開発でそろえることは不可能であり、オープンイノベーションや他国からの技術導入も組み合わせて、バランスよく技術開発・活用を進めることが必要となる。その際、自国で重点開発すべき技術のターゲットは、上記の(1)(2)(3)のような作戦・シナリオを通して国際競争力を構築できる技術領域が基本となるが、もう1つ考慮しておくべき点がある。セキュリティに代表されるような社会基盤を支える技術は、他国での技術開発に依存していると、国の安全性・安定性に不安を招きかねない。そのため、社会基盤を支える根幹技術への重点的・継続的な投資は確保しなくてはならない。

次に、これら4つの考え方をを用いて、国として推進すべき重点テーマの抽出を行う。前節までに述べた各区分・研究開発領域の方向性や日本の現状を踏まえ、4つの考え方に照らして、国際競争力を構築するための作戦・シナリオ、国として取り組むべき意義を訴求することのできるテーマを、国として推進すべき重点テーマとして抽出した（表1-3-1）。各テーマの内容や抽出理由の詳細は次節にまとめる。

表1-3-1 重点テーマの抽出

区分	研究領域	重点テーマ名	戦略の4つの基本的な考え方*			
			(1)技術	(2)産業	(3)社会	(4)基盤
人工知能・ビッグデータ	意思決定・合意形成支援	意思決定・合意形成支援	○			○
	AIソフトウェア工学	AIソフトウェア工学	○		○	
	計算脳科学	計算脳科学	○			
	自然言語処理	統合AI	○			
ロボティクス	認知発達ロボティクス	自律・認知発達ロボティクス			○	
	生物規範型ロボティクス	生物規範型ロボティクス		○		
	生活支援ロボット	人間・機械共生	○		○	
社会システム科学	計算社会科学	ビッグデータに基づく問題解決			○	
	計算社会科学	Society デジタルツイン			○	
	社会システムアーキテクチャ	社会システムデザイン				○
	制度設計	RegTech				○
	サイバーフィジカルセキュリティ	サイバーフィジカルセキュリティ				○
コンピューティングアーキテクチャ	サービスプラットフォーム	サービスプラットフォーム			○	○
	ブロックチェーン	ブロックチェーン		○	○	
	データセンタースケールコンピューティング	データセンタースケールコンピューティング				○
	プロセッサアーキテクチャ	非フォンノイマンプロセッサアーキテクチャ	○			
	量子コンピュータサイエンス	量子コンピュータサイエンス		○		○
	IoTアーキテクチャ	リアルタイムシステム		○		○
	データ処理基盤	データ流通・共有基盤				○
基盤レイヤー	システム・情報基礎理論	数学	○			

* (1) 技術：強い技術を核とした骨太化、(2) 産業：強い産業の発展・革新の推進、(3) 社会：社会課題の先行解決、(4) 基盤：社会基盤を支える根幹技術確保。

1.3.3 国として推進すべき重点テーマ

システム・情報科学技術分野における日本・世界の研究開発の現状と我が国の課題を鑑み、前節で挙げた4つの基本的な考え方に基づいてCRDSで以下に挙げる20の重点テーマを抽出した。

（重点テーマ1）意思決定・合意形成

多様な価値観が混在・対立し、フェイクニュースが社会問題化しつつある複雑社会において、個人・集団が主体性や納得感を持って意思決定できるような、情報科学技術を活用したより良い仕組みの実現を目指した研究開発テーマ。このテーマは「(シナリオ1) 強い技術を核とした骨太化」「(シナリオ4) 社会基盤を支える根幹技術確保」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.1.5 意思決定・合意形成支援」を参照のこと（対応する戦略プロポーザル：CRDS-FY2017-SP-03「複雑社会における意思決定・合意形成を支える情報科学技術」）。

（重点テーマ2）AIソフトウェア工学

データの例示によってシステムの動作を帰納的に定義するシステム開発の新パラダイム。安全性・信頼性を確保したAI応用システムの効率のよい開発方法論・技術体系の確立と社会実装をねらうテーマである。このテーマは「(シナリオ1) 強い技術を核とした骨太化」「(シナリオ3) 社会課題の先行解決」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.1.4 AIソフトウェア工学」を参照のこと（対応する戦略プロポーザル：CRDS-FY2018-SP-03「AI応用システムの安全性・信頼性を確保する新世代ソフトウェア工学の確立」）。

（重点テーマ3）計算脳科学

脳を情報処理システムととらえた研究分野で、深層学習・強化学習をはじめAIの基本メカニズムとの関係が深まっている。Neuroscience-Inspired AI、計算機による全脳シミュレーション、社会脳科学等の進展からAI技術への示唆が見込まれる。このテーマは「(シナリオ1) 強い技術を核とした骨太化」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.1.7 計算脳科学」を参照のこと。

（重点テーマ4）統合AI

第2次AIブームはトップダウン型AI（ルールベース）、第3次AIブームはボトムアップ型AI（機械学習）が主流だったが、その先はトップダウンとボトムアップの両者の統合（機械学習+記号推論、帰納型+演繹型）へ向かうと考えられる。元来、記号処理系である自然言語処理の分野で深層学習との統合が見られ、さらなる発展が見込まれる。このテーマは「(シナリオ1) 強い技術を核とした骨太化」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.1.3 自然言語処理」を参照のこと。

（重点テーマ5）自律・認知発達ロボティクス

人間の学習のように認知機能を学習・創発する仕組みをロボットに与え、認知機能の研究とロボットへの応用を図る研究開発テーマ。このテーマは「(シナリオ3) 社会課題の先行解決」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.2.1 認知発達ロボティクス」を参照のこと。

（重点テーマ6）生物規範型ロボティクス

生物の身体構造の物理制約による歩き方の効率的な学習など、様々な面で生物を規範とするロボティクス技術の開発。ソフトロボティクスも含む。このテーマは「(シナリオ2) 強い産業の発展・革新の推進」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.2.8 ソフトロボティクス」「2.2.9 生物規範型ロボティクス」を参照のこと（対応する戦略プロポーザル：CRDS-FY2015-SP-03「ナノ・IT・メカ統合によるロボット基盤技術の革新～人に寄り添うスマートロボットを目指して～」）。

（重点テーマ7）人間・機械共生

レベル3自動運転やロボティック・プロセス・オートメーション（RPA）との協調作業など、人間と機械の協力作業にかかるシステム・情報科学技術を扱う。技術的な側面だけでなく、製造物責任法（PL法）やソフトウェア品質標準など、法制度的な側面の課題も含まれる。このテーマは「(シナリオ1) 強い技術を核とした骨太化」「(シナリオ3) 社会課題の先行解決」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.2.2 生活支援ロボット」を参照のこと。

（重点テーマ8）ビッグデータに基づく問題解決

トリリオンセンサー時代の計測によって作り出される多様なビッグデータを、社会経済システムおよび人間行動に活かすための研究開発。このテーマは「(シナリオ3) 社会課題の先行解決」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.3.1 計算社会科学」を参照のこと。

（重点テーマ9）Society デジタルツイン

実際の社会現象の情報をIoTなどから入力し、リアルタイムで情報を更新する「社会のシミュレーター」実現に必要な、数理モデリング、複雑系科学、シミュレーション・データ同化技術などを含むテーマ。このテーマは「(シナリオ3) 社会課題の先行解決」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.3.1 計算社会科学」を参照のこと。

（重点テーマ10）社会システムデザイン

強靱かつ柔軟で効率的な社会システムを実現するための基盤技術の研究開発。継続性・可用性確保のための社会システムの構造を設計する。このテーマは「(シナリオ4) 社会基盤を支える根幹技術確保」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.3.4 社会システムアーキテクチャ」を参照のこと。

（重点テーマ11）RegTech

特許や法律などの文章を機械可読とすることで、テキストマイニングや機械学習を使って利用しやすくし、人間の作業を支援する技術を開発するテーマ。「(シナリオ4) 社会基盤を支える根幹技術確保」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.3.5 制度設計」を参照のこと。

（重点テーマ12）サイバーフィジカルセキュリティ

情報・システム・デバイスセキュリティにわたる、サイバーフィジカルシステム全体の安全性の確保に必要な、技術・人材・法制度の研究開発。このテーマは「(シナリオ4) 社会基盤

を支える根幹技術確保」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.3.3 サイバーフィジカルセキュリティ」を参照のこと。

(重点テーマ13) サービスプラットフォーム

Reality2.0 実現基盤としてのプラットフォームの構築をめざすテーマ。エッジからクラウドに至る CPS アーキテクチャの最適化を含む。このテーマは「(シナリオ3) 社会課題の先行解決」「(シナリオ4) 社会基盤を支える根幹技術確保」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.4.5 サービスプラットフォーム」を参照のこと (対応する戦略プロポーザル: CRDS-FY2015-SP-02 「IoT が開く超スマート社会のデザイン — REALITY 2.0 —」)。

(重点テーマ14) ブロックチェーン

信頼性を担保した分散管理台帳技術の基盤構築と応用開拓。ブロックチェーン利活用推進のための次世代アプリケーション技術の創出・高度化。このテーマは「(シナリオ2) 強い産業の発展・革新の推進」「(シナリオ3) 社会課題の先行解決」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.4.7 ブロックチェーン」を参照のこと。

(重点テーマ15) データセンタースケールコンピューティング

データセンター規模での計算機システムアーキテクチャの研究開発。このテーマは「(シナリオ4) 社会基盤を支える根幹技術確保」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.4.3 データセンタースケールコンピューティング」を参照のこと。

(重点テーマ16) 非フォンノイマンプロセッサアーキテクチャ

ニューロモーフィック、量子計算、近似計算、アナログ計算などを含む新しいコンピューティングパラダイムの探求と実装実証をねらう。このテーマは「(シナリオ1) 強い技術を核とした骨太化」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.4.1 プロセッサアーキテクチャ」を参照のこと (対応する戦略プロポーザル: CRDS-FY2017-SP-02 「革新的コンピューティング ～計算ドメイン志向による基盤技術の創出～」)。

(重点テーマ17) 量子コンピューターサイエンス

量子アルゴリズムの要求と現状の量子ハードウェア性能の間にある大きなギャップを埋めるコンピューター科学・コンピューター工学の学際的な研究開発テーマ。このテーマは「(シナリオ2) 強い産業の発展・革新の推進」「(シナリオ4) 社会基盤を支える根幹技術確保」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.4.2 量子コンピューターサイエンス」を参照のこと (対応する戦略プロポーザル: CRDS-FY2018-SP-04 「みんなの量子コンピューター ～情報・数理・電子工学と拓く新しい量子アプリ～」)。

(重点テーマ18) リアルタイムシステム

ポスト 5G の高速・大容量・超低遅延通信をねらう ICT システムアーキテクチャの研究開発を行う。低遅延ネットワークの実現による感覚・体験を共有するサービスなど新産業の創出も見据える。このテーマは「(シナリオ2) 強い産業の発展・革新の推進」「(シナリオ4) 社会

基盤を支える根幹技術確保」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.4.6 IoTアーキテクチャ」を参照のこと。

（重点テーマ19）データ流通・共有基盤

政府や行政機関が持つビッグデータの流通・共有を円滑に行うためのデータベース基盤の構築をめざすテーマ。共通語彙やAPI整備など技術面の他、プライバシーや情報セキュリティなど法制度やガイドラインなどの課題解決も求められる。このテーマは「(シナリオ4) 社会基盤を支える根幹技術確保」による推進を念頭におく。詳細は研究開発領域「2.4.4 データ処理基盤」を参照のこと。

（重点テーマ20）数学

数学や数理科学と情報科学の連携・融合による新しい理論・技術の構築を目指すテーマ。とくに、データ駆動型のアプローチである情報科学と数理モデル型アプローチの数理科学との連携を重視する。このテーマは「(シナリオ1) 強い技術を核とした骨太化」による推進を念頭におく。

1.3.4 研究開発体制・システムのあり方

システム・情報科学技術分野の今後の展望・方向性として、前項では国として推進すべき重点テーマについて述べた。研究開発戦略を立案するうえでは、研究開発テーマに合わせた研究開発を推進するための体制・システムも考える必要がある。本項では、システム・情報科学技術分野における研究開発体制・システムを考える上で着目するポイントおよび具体的な重点テーマの推進方法を例にその留意点について述べる。

システム・情報科学技術は、他の科学技術分野や産業、社会に対して大きな影響を与え、社会の要請が変化し、その変化した要請に応えるべく研究開発が行われ技術が進展する。このように、技術と社会は一方向の関係ではなく共に進化をする関係にある。また、新たな技術はそれまでになかった社会需要を作り出すこともあり、推進するテーマによりシーズブッシュ、ニューズブルの双方の方法論が必要となってくる。技術が社会の役に立ち、より効果的な研究開発となるよう、市民視点での問題解決、アジャイル型の研究開発、コンペティションによる技術発展、社会制度の革新に着目している。

市民視点での問題解決

技術主導の社会適用といった推進の結果、社会に技術が根付かずに技術の恩恵を受けることなく失敗するケースが見受けられる。技術の開発に加え、大きな社会的価値を生み出すために、社会と技術を良い関係で結びつけることが必要である。そのためには、単に新たな技術の社会適用を考える方法論ではなく、市民の視点で問題解決を図る中で適した技術を選択するという考え方も必要になる。自治体の代表者や人文・社会科学者も巻き込んだ推進体制を構築することで解決を図る。政策的支援の終了後の持続性を考え、既存資産が新たな価値を生むように技術を取り込むシステムの構築または再構築を行うべきである。

アジャイル型の研究開発

新たな技術を開発し、いち早くサービスに取り入れ市場の反応を見るような開発手法で進めることが企業において行われている。Facebook など多くの IT 企業はこのような手法で新たな技術をサービスの質の向上につなげており大きな成功につながっている。新たな市場で勝者となりそれを維持するためには、試行錯誤的に新たなサービスを次々と打ち出し顧客の反応をフィードバックしながらスピード感をもってアジャイルに研究開発を行う必要がある。

コンペティションによる技術発展

情報関連技術のコンペティションは広く行われている。中でもグランドチャレンジ型のコンペティションは、直接的な実力評価の面だけでなく、競争 & 共創を通じた問題解決型の技術発展、研究コミュニティの活性化・ビジビリティ向上、重要課題の発見・共有、研究基盤整備（大規模データセット構築、再現性確保）の意義があり、システム・情報科学技術の発展につながっている。より、活発な活動が行われるように、主催者、参加者の両面から支援を行うことが望ましい。

社会制度の革新

既存のステークホルダが既得権者となり新興企業や新産業創出の足かせとなる問題が起きており、新たな産業のプラットフォームが日本を除く市場で大きく成長している現状がある。社会の強い要請は早かれ遅かれ社会制度的な対応を迫る。法律、ガイドライン、商習慣など、既得権者を守るためではなく、勝てる日本の産業を作るために、攻める対応と守る対応をうまく使い分ける必要がある。今起きている「所有から使用」への社会要請の変化をいち早く見出し対応した産業を伸ばすためには、研究開発以外の努力も必要である。新たなステークホルダを巻き込んだエコシステムへの変化を促し社会革新につなげるためには、明らかに技術革新だけでなく制度革新も行う必要がある。そのため、社会システムを再構築するためのデザインが重要な役割を果たす。

研究開発の推進方法は各テーマによって効果的な方法が異なる。典型的な推進方法の例として、以下に直前に発行（予定含む）のプロポーザルで取り上げたテーマの推進方法の留意点について述べる。

（1）AI 応用システムの安全性・信頼性を確保する新世代ソフトウェア工学の確立

【問題解決型の基礎研究をトップダウンに加速】

解決すべき問題（例：一般画像認識、機械翻訳、異常検知等）が先にあり、問題に適した解法を見出すまでが基礎研究である。そのフェーズでは、異なる要素技術を用いた複数通りの解法が検討され、それらの研究開発が並行して進められる。その中から筋のよいアプローチを見極め、それらを組み合わせた統合的な解法に発展させる。解法が見出されれば、その解法・技術の実用化には産業界が競争して投資する。ファンディングプログラムとしては、問題を明確に定義するが、解くための技術・アプローチは限定しない。ステージゲート型のファンディングも活用する。

【人工知能とソフトウェア工学の技術融合を促進】

人工知能（AI）とソフトウェア工学（SE）の技術融合を促進し、新しい技術分野を創出、事業競争力を強化する。

まず、実データに基づく研究の一層強化が必要である。特に AI 分野の革新技術は実データに基づく研究から生まれることが多い。また、ソフトウェア開発力が軽視されがちというのも懸念点である。AI 分野ではデータとソフト開発力が競争力を生む。

大学における学術研究とはいえ、ソフトウェア開発力は重要である。さらに、大学におけるソフトウェア工学研究が産業界の開発現場からともすると乖離しているという指摘が産業界からしばしば聞かれる。システム開発のパラダイム転換を通して産学関係・業界の変革を進めるような意識を持つ必要があるかもしれない。

このような弱点を克服し、AI ソフトウェア工学における真の競争力を生み出すためには、人工知能（AI）×ソフトウェア工学（SE）の技術融合を促進し、新しい技術分野の創出、事業競争力の強化に結びつけていくことを強力に推し進めることが望まれる。その具体的な施策化においては、次の「3つの活動を密連携させて推進」で述べるような体制作りを産学連携で進める必要がある。

【3つの活動を密連携させて推進】

AI ソフトウェア工学の研究開発は、①学術研究&人材育成、②実応用での技術実証、③基準策定&標準化、という3つの活動を密連携させて推進することが不可欠である。「①学術研究&人材育成」は主に大学等の学術研究機関が担うが、それが、「②実応用での技術実証」や「③基準策定&標準化」と結びつく形で取り込まれることが望ましい。そのためには、産学連携のプロジェクトチーム体制を作ったり、密連携を推進する司令塔組織を設置したりするのが有効である。実際、中核となる3つの活動（上述の①②③）に関わる様々な活動や団体・組織が立ち上がってきており、それらを束ねて推進する体制・司令塔の早期設置が望まれる。

【競争が始まっている自動運転分野で先行実証し、他分野へ展開】

AI ソフトウェア工学の研究開発では、産業分野毎に要求されるAI品質が異なることを踏まえて取り組むことが重要である。その一例として、AIプロダクト品質保証コンソーシアムQA4AIでは、自動運転、工場（製造）、スマートスピーカー、クリエイティブ（3D動画生成）という4つのワーキンググループを設置して検討を進めている。

その中でも特に自動運転を最重点産業分野ととらえる。自動運転は、将来に向けて国際的にも競争が始まっている重要分野である。この自動運転分野AIソフトウェア工学を先行実証し、そこで生み出したAI品質の国際競争力を、分野共通的な部分を活かしつつ、個々の分野の産業特性・品質要件を考慮し他分野に展開するという進め方がよい。自動運転分野は品質保証クリティカルで、業界の危機意識も強く、世界的に検討が先行している。ここでの成果が他分野にも波及する可能性が高い。

【日本の先行優位性を活かす迅速な施策推進】

AIソフトウェア工学は、学問分野としてまだ黎明期だが、AIに関わる他分野と同様に、動きがはやいことは間違いない。しかも、現状、国内での取り組みは海外にやや先行した面もあり、決して後追い状況ではなく、世界的にリードできるチャンスがある。また、品質基準・安全性基準等を打ち出して、標準化活動を進めるにあたっては先行優位性はキープしたい。したがって、日本の先行優位性を活かす迅速な施策推進が強く望まれる。ただし、開発で先行し、品質の高さでも優位性を達成したとしても、日本だけのガラパゴス企画になってしまうと、産業面で必ずしも得策ではない。国際的な協力関係・グローバル技術を意識した取り組みを進めることも肝要である。

AIソフトウェア工学の全体としては、産業界が牽引するものと思えるが、パラダイム転換に対応する新しい理論・原理の創出や、学問分野としての技術体系・方法論の確立（10年かけて取り組むものである）には、学術的な基礎研究が不可欠である。

（2）量子コンピューティング

【分野融合・企業参画・国際連携の促進】

本研究開発の推進においては、様々な方策を駆使して量子ソフトウェアから量子デバイスまでの技術スタックを上から下まですべて用意し、垂直統合的に研究開発を進めることが必要となる。特に、必要となる技術の背景となる学理基盤は多岐にわたり、かつフルスタックの技術を一研究室や一企業はおろか一国ですべてカバーすることは困難であるため、分野融合・企業

参画・国際連携がきわめて重要である。

【量子コンピューター研究開発ネットワークとハブ拠点】

量子コンピューターの研究開発にはハードウェアからソフトウェアに至るまでの必要な全ての技術を用意することが必要となるが、それらに関わる機器や人材を物理的に1ヶ所に集合させることは現実的ではない。この事情は他国の研究機関でも程度の差こそあれ同様である。したがって、多様な研究開発拠点やチームから成る量子コンピューター研究開発ネットワークを構築するとともに、その効果的・効率的な連携・協調動作のためのハブとなるような拠点も複数必要となる。

【コミュニティ・エコシステムの醸成】

研究開発プロジェクトや研究開発ネットワークの成功は、量子コンピューター研究開発のコミュニティに登場するプレイヤーの充実・多様化と、それらがエコシステムを形成して様々な役割で機能することにかかっている。したがって、単にグラントによる研究資金の提供や研究開発拠点の設置だけでなく、エコシステムの構築を志向した総合的な施策が重要である。

【量子コンピューター教育・訓練】

量子コンピューティング分野が直面している課題の1つは、量子ソフトウェアの作成・開発の訓練を受けた人材の不足である。量子コンピューターだけでなく、量子情報処理技術全体での量子エンジニアも不足している。量子ソフトウェアのプログラミングには、波の干渉や重ね合わせなど古典的プログラミングとは根本的に異なる部分があり（かつその性質こそが量子計算の指数関数的な加速を実現する）、量子計算のルールに慣れた人材の養成は量子コンピューターが社会にインパクトを与えるためのカギを握っている。

（3）進化型社会システムデザイン

交通システム、行政サービス、病院システムといった社会システムをデザインするには、技術的課題解決に基づくシステム構築と、法制度的課題解決に基づく法制度構築が相互に連携して課題解決を図る必要があるだけでなく、社会の変化にあわせて進化させる必要もある。そのためには、社会を観察し、分析し、システムを構築し、運用する、それぞれにおける個別の研究課題を自然科学と人文・社会科学が協力して解決する必要がある。社会システムの構築には、個々の研究成果を統合して、実証実験を積み重ねて改良していく DevOps¹ 的アプローチが有効である。実証実験においては、市民と産学官を結び付けるコーディネータが重要なため、コーディネータ人材の育成、コーディネータを支える組織の構築を具体化していくことが重要である。

実証実験を、実証実験だけで終わってしまわないように、

- ・自治体の首長および企画部門の人、IT がわかる SIer² をメンバーに含める
- ・若くやる気のあるメンバーを含める

¹ 開発と運用を連携して行う開発手法。運用における問題点を開発に迅速にフィードバックし、迅速開発を行う。

² システムインテグレーションを行う業者。

- ・技術先行の社会適用とならないよう、当初から社会学者を参画させる
 - ・金融機関、地域ファンドなどの活用を含め、資産が収益を生む構造を設計し、必要な資金が継続的に確保される仕組みを作る
 - ・どこでやりたいかを限定し、何をやりたいかを考え、次に法制度や技術を考える
 - ・社会課題に一般論はなく、地域の特性に応じてさまざまな社会課題がある
- といった点に留意する必要がある。必要な資金が継続的に確保される仕組みを作るためにも、早い段階から、産業界との連携を模索する必要がある。

研究開発領域の国際比較表について

(註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註3) トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向