

1.3 今後の展望・挑戦課題

1.3.1 今後重要となる研究の展望・方向性

「1.2.2 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、「第4世代AI」と「信頼されるAI」に向けた取り組みが研究開発の潮流として注目される。「理論の革新」の流れでは、過去3回のAIブームはいずれも理論面の発展や計算能力の増大等の技術進歩が牽引し、「応用の革新」の流れの中に挙げたさまざまな特定用途において人間を上回る性能を示している。一方、大量の学習データ・計算資源が必要であること、学習範囲外の状況に弱いこと、意味処理・説明等の高次処理ができていないこと、といった問題が指摘されている。問題の克服に向け、「2.1.1 知覚・運動系のAI技術」と「2.1.2 言語・知識系のAI技術」の融合による「第4世代AI」の研究開発が進められている。これらに加えて、「2.1.7 計算脳科学」や「2.1.8 認知発達ロボティクス」の研究から得られる人間の知能に関する知見が重要な役割を果たすと考えられる。さらに「2.1.3 エージェント技術」により、AIと人間、あるいは複数のAI間の関係が広がりつつある。

AI技術がさまざまな形で社会に広がると「2.1.9 社会におけるAI」という視点からAI社会原則やAI倫理指針が世界レベルで議論されるようになった。「信頼されるAI」のための具体的な研究課題として、本報告書では「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」を戦略的な重要度が高い研究開発領域として挙げる。

(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的な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。基盤技術として「2.2.1 ソフトロボティクス」「2.2.2 生物規範型ロボティクス」「2.2.4 システム化技術」が注目される。

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。「2.2.3 インタラクション」「2.2.5 モビリティロボット」「2.2.7 生活支援ロボット」などの研究開発領域では、これまで以上に人間との相互作用が重要視されている。

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として「2.2.6 フィールドロボット」「2.2.9 産業用ロボット」「2.2.10 農林水産ロボット」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。「2.2.8 サービスロボット」で取り上げたような光の側面に対する、ロボティクスの社会浸透における影の部分ともいえるELSIの取り扱いについては「2.2.11 ロボティクスと社会」に取り上げた。

(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、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な運用に重要な「2.3.3 社会システムアーキテクチャー」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「2.3.4 メカニズムデザイン」や「2.3.5 計算社会科学」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。本俯瞰報告書ではサービスに関わる科学的な概念・理論の構築から、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までを含む「2.3.1 デジタル変革」と「2.3.2 サービスサイエンス」を戦略的に重要な研究開発領域として挙げる。

(4) セキュリティー・トラスト

「インフラ」「プラットフォーム」「サービス」という3つの大きな流れが社会に広がる中、セキュリティーとトラストの重要性が高く認識されるようになってきた。

「2.4.2 サイバーセキュリティー」がこれまで以上に重要になってきたことに加えて、サイバーフィジカルシステムといった新しい利用形態の登場で「2.4.1 IoT・制御システムセキュリティー」に注意を払う必要も出てきた。また、セキュリティーやプライバシーの保護とデータ利活用の両立には、個人情報漏えい対策やコンテンツの不正使用・操作対策のための「2.4.3 データ・コンテンツのセキュリティー」を考えることが重要となる。

加えて、近年、社会への影響度の点で無視できないのが、情報システムや情報サービスにおける安心・信頼の概念である、トラストである。本俯瞰報告書では、安心・信頼できる社会を目指し、人間の心理、制度、および技術の側面から取り扱う「2.4.4 トラスト」を戦略的に重要な研究開発領域として挙げた。

(5) コンピューティングアーキテクチャー

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つの流れで理解される。「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「2.5.1 プロセッサアーキテクチャー」「2.5.2 量子コンピューティング」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への期待が高まり、コンピューター単体とは異なる技術が求められる「2.5.3 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「2.5.4 データ処理基盤」「2.5.5 IoTアーキテクチャー」の技術の重要度が増してきている。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「2.5.6 デジタル社会インフラ」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つ「2.5.7 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、引き続き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必要がある。

(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ー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、他国からの技術導入も組み合わせ、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ティ

ングは、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。セキュリティー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。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。前節までで述べた各区分・研究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。

その結果を表1-3-1に示す。各テーマの内容や抽出理由の詳細は1.3.4節にまとめる。

表1-3-1 重点テーマの抽出

重点テーマ (関連研究開発領域)	狙い・概要	戦略の4つの基本的な考え方*			
		技術	産業	社会	基盤
第4世代AI (2.1.1、2.1.2、2.1.7、2.1.8)	深層学習と知識・記号推論を融合することで、現在の深層学習の課題を克服し、人間と親和性が高く、実世界で発達・成長するAIの実現を目指した研究開発テーマ。	○			
信頼されるAI (2.1.4、2.1.5)	AIのブラックボックス問題、差別・偏見問題、脆弱性問題、品質保証問題、フェイク問題等の解決という社会的要請を充足し、信頼される高品質なAI(Trusted Quality AI)を実現するための研究開発テーマ。		○		○
AIと人間の共進化 (2.1.9)	専門家等の高度なスキルをAIが学習し、より幅広い層の人々がそれを活用できるようにすることで、人間とAIの協調活動をレベルアップする研究開発テーマ。	○		○	
社会システムを支えるAIアーキテクチャー (2.1.3、2.1.5、2.3.3、2.3.4、2.5.1、2.5.4)	AI技術がさまざまな社会システムに組み込まれて動作する世界(ユビキタスAI)において解決すべき技術課題として、多数のAIシステム/エージェント間の交渉・協調・連携や望ましいメカニズムデザイン、社会システムスケールの効率的な分散協調AIアーキテクチャー(AI向けチップから計算機クラスターやエッジ・クラウドまで総合的に捉えて)等に取り組む研究開発テーマ。				○
AIと科学(2.1.6)	AI・データ駆動科学によって科学的発見・理解を拡大・加速するための研究開発テーマ。	○			○
AI×ロボット融合 (2.1.8、2.2.3)	人工知能研究とロボット研究を融合的に取り組み、両分野のシナジェティックな進展を狙う研究開発テーマ。	○	○		
社会的に成長するロボット (2.1.8、2.2.11)	人間の社会的行動を理解し、自らも社会的・道徳的規範に基づいた社会的行動をとることができるロボットの実現を目指す研究開発テーマ。		○	○	
テレプレゼンス(2.2.3)	遠隔操作するロボットを介して、周辺環境を知覚し、自由に行動するなど、あたかもその場にいるような体験ができる技術の実現を目指す研究開発テーマ。		○	○	

チームロボティクス (2.2.4)	複数のロボットをチームとして再構成し、協調して行動することにより、様々な複雑なタスクに対し柔軟に対応できるロボットの実現を目指す研究開発テーマ。	○	○		
Society デジタルツイン (2.3.2、2.3.3、2.3.5)	社会課題解決を支援するために、IoT等のセンシング技術で取り込んだ実際の社会活動データを解析し構築された社会モデルを利用し、社会現象を模擬する社会シミュレーター実現に必要な研究開発テーマ。			○	
コグニティブセキュリティ (2.1.5、2.4.3)	人間の認知や思考、意思決定などに悪影響を与える攻撃からの防御に関する研究開発テーマ。			○	○
トラスト基盤 (2.3.4、2.4.4)	情報社会における安心・信頼の確保を目指す総合的な研究開発テーマ。				○
Society 5.0プラットフォーム (2.3.1、2.5.6)	サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会課題解決を両立するSociety 5.0のプラットフォーム構築を目指す研究開発テーマ。			○	○
ブロックチェーン (2.5.7)	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に関する研究開発テーマ。		○	○	
データセンタースケールコンピューティング (2.5.3)	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ーの研究開発テーマ。				○
非フォンノイマンコンピューティング (2.5.1)	ニューラルネットワークや組合せ最適化を高速に実行するハードウェアや、そのための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研究開発テーマ。	○			
量子コンピューティング (2.5.2)	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。		○		○
リアルタイムシステム (2.5.5、2.5.6)	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ーの研究開発を行うテーマ。		○		○
データ流通・共有基盤 (2.3.3、2.5.4)	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目指すテーマ。				○
数学と情報科学	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。	○			
ニューノーマルとDX	生活様式の変容が求められる中、仕事、学校、政府などのオンライン化やデジタルトランスフォーメーション(DX)により高まるITへの社会的期待に応えるための研究開発テーマ。			○	○

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

1.3.3 新型感染症対策でのICT利用

2019年11月に中国の武漢市付近で最初に発生が確認された新型コロナウイルス感染症（COVID-19）は、2020年2月下旬の休校要請、2020年4月7日の緊急事態宣言、2021年1月7日の2度目の緊急事態宣言と、日本社会に大きな影響を与え続けている。表1-3-2に初期（感染数が急激に増加している状況）と中長期（ワクチンや薬が供給され、感染数がある程度落ち着いた状況）において、行政、医療・ヘルスケア、教育・研究、産業の各領域でICTがどのように利用できるかをまとめた。

(1) 行政におけるICTの利用

新型感染症が確認されたとき、最初に対応するのは国や地方自治体である。新型感染症の感染パターンや症状は、その存在が認識された初期段階で推定され対策が立てられる。COVID-19でいえば、飛沫感染が主であるとか、感染から発症までに最大2週間程度かかることがあるとか、発症前から感染力を持つらしいといったことである。患者数の増加につれて事例が蓄積され、より正しい推定がなされる。COVID-19では人との接触が感染のリスクになるという科学的助言をうけ、日本では厚生労働省が換気の悪い密閉空間、多数が集まる密集場所、間近で会話や発声をする密接場面の、いわゆる「3密」の回避や、マスクの着用を推奨した。

感染拡大防止には、早期にパンデミックの兆候を検知して感染モデルを構築し、感染状況の予測を行ったり、個別の感染追跡に個人の位置情報を使ったり、各人の健康状態や各人を取り巻く状況をモニタリングしたり、人間行動をシミュレートしたりして対策を検討することが考えられる。自然言語処理や機械学習を使うことで、パンデミックの兆候をより早く検知することが可能であり、COVID-19でもWHO以前に警報を出していた会社はあった¹が、日本が直接利用することはなかった。英国のインペリアルカレッジのグループをはじめとして多数の研究グループから感染モデルやシミュレーション結果が発表された。日本でも感染モデル・シミュレーションに基づき、緊急事態を1ヶ月で脱出するには人と人との接触を7割、8割減らすことが前提、という発表がなされた。

端末アプリ、センシングデータ、医療データ等を通して、個々人の健康状態・状況を追跡・モニタリングすることで、感染拡大のリスクを早期検知し回避策を起動できるようにしようという動きがある。中国政府は全国的な人工知能ビデオ監視システムを稼働させており²、韓国政府はスマートフォンの位置（GPS）情報とクレジットカード番号を紐付けて、誰がどこで買い物や食事をしたかを追跡し³、シンガポール政府はスマートフォンのBluetoothと電話番号とを紐付けて、感染が分かった場合電話で連絡が取れるようにしている⁴。日本が接触確認アプリケーションCOCOAとして公開したプログラムは、AppleとGoogleが協力して開発し

- 1 「AI could help with the next pandemic—but not with this one」, 参照 2021年2月12日, <https://www.technologyreview.com/2020/03/12/905352/ai-could-help-with-the-next-pandemic-but-not-with-this-one/>.
- 2 「14億の国民を1秒で特定「中国のコロナ監視」のすごい仕組み」, 参照 2021年2月12日, <https://president.jp/articles/-/35799>.
- 3 「IT活用でコロナ追跡 韓国、感染者の経路公開」, 参照 2021年2月12日, <https://mainichi.jp/articles/20200416/ddm/003/040/040000c>.
- 4 「シンガポール、コロナ感染をアプリで追跡、政府開発」, 参照 2021年2月12日, <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO57056430Q0A320C2FF8000/>.

た⁵、個人が特定できない状態で Bluetooth を利用する接触検知アルゴリズムを利用している。COCOA の場合、アプリケーションのインストールが強制でないため利用者が広がらず効果が出にくい、という問題があるが、中国のように個人情報を利用する接触検知手段を強制的に導入すると、COVID-19 が収まった後も継続して利用されて監視社会が構築される可能性がある。

国民の理解や行動を左右するフェイクニュースやデマといった扇動問題⁶については、不適切な情報の拡散を抑えるといった対策のために AI などの ICT を利用することも重要である。一方で、数理モデルに基づく根拠ある対策等が考えられ広報されても、それを信じようとせず、適切な対策行動が行われず結果が出ないといった場合もある。これは行動制限のように、平時では拒否されるような事柄である場合に起こり易い事態である。平時の判断基準を非常時に適用することで起こる、行動経済学で言うところの正常性バイアスである。これを防ぐには、自分の状況認識よりも政府の状況把握の方が複眼的に事態をとらえていて、何が起きているのかを正確に理解している、ということをも市民が信じていること、つまり政府の判断に対する信頼が重要である。

一方、国民に適切な情報を分かりやすく伝えるため、オープンデータと Web を使った情報提示が、COVID-19 の拡大が始まったところから実行に移されている。例えば、米国 ジョーンズ・ホプキンス大学が公開した新型コロナウイルス感染マップは⁷、新型コロナウイルスの情報をほぼリアルタイムで示す。東京都の公式新型コロナウイルス対策サイトは GitHub 上に公開されコミュニティーで開発が行われ、広く一般から修正提案を受け付けるとともに、同じコードを他の自治体でも実行できるようにした⁸。都道府県ごとの患者数や病床数を表示するダッシュボードが作成され、「ひっ迫した状況が一目瞭然」で分かる Web サイトもスピード公開された⁹。

COVID-19 のパンデミックを経験して、感染症患者を受け入れる最前線である保健所からの感染者数の報告がいまだに紙と FAX であることが明らかになった。そのため、データの集計に時間がかかったり、二重集計等の間違いが後になって分かったりするという事態が発生した。またテレワークに移行することになっても、押印のためだけに事務所に出勤しなければいけないという状況や、オンライン申請ができないといった状況も明らかになった。ニューノーマル構築に向けて、国はデジタル庁を創設し、行政プロセスを見直して、押印が必要な書類の大幅な削減などの手を打とうとしている。

(2) 医療・ヘルスケアにおける ICT の利用

新型コロナウイルス感染が拡大している状況では、増加する感染症患者をどうやって治療するかが最大の課題となる。医療現場の負荷軽減や医療現場での感染リスクの低減によって、医療崩壊を回避したり医療従事者を守ったりするために、AI 技術が利用されている。

5 「アップルとグーグルが目指す『濃厚接触の追跡』は、こうして新型コロナウイルスの感染拡大を見つけ出す」、参照 2021 年 2 月 12 日, <https://wired.jp/2020/04/12/apple-google-bluetooth-contact-tracing-covid-19/>.

6 「新型コロナウイルスが引き起こす『インフォデミック』の実態」、参照 2021 年 2 月 12 日, <https://www.technologyreview.jp/s/187671/the-coronavirus-is-the-first-true-social-media-infodemic/>.

7 「アメリカの大学が新型コロナウイルスの情報をほぼリアルタイムで示すサイト開設」、参照 2021 年 2 月 12 日, <https://www.businessinsider.jp/post-206597>.

8 「東京都の新型コロナ対策サイト、GitHub でコード公開 修正提案受け付け」、参照 2021 年 2 月 12 日, <https://www.itmedia.co.jp/news/articles/2003/05/news073.html>.

9 「『ひっ迫した状況が一目瞭然』新型コロナ病床数まとめサイト、大反響に『バグを疑った』と開発者仰天 “医療現場の声” 励みにスピード公開」、参照 2020 年 11 月 26 日, <https://www.itmedia.co.jp/news/articles/2003/26/news112.html>.

米国疾病予防管理センター (CDC) は、マイクロソフトの Healthcare Bot を用いた「COVID-19 評価ボット」を導入して、まずボットに相談してもらい、医療機関に連絡したり対面治療したりする必要がないと判断できた人には、自宅で安全に病気を管理するよう提案し、病院の負荷を軽減した¹⁰。

イスラエルでは、過去の医療データから COVID-19 の合併症のハイリスク者を特定する作業に AI を利用している。ハイリスク者と特定されると、COVID-19 への感染が疑われた際に検査を優先的に受けられるとのことである¹¹。

AI による診断やトリアージを医師の参考情報として使うことは、患者が急増する状況で、医療診断を行う人間の医師の負荷軽減のために有効と期待される。たとえば、肺の CT スキャン画像から COVID-19 に関連する肺炎の視覚的兆候を検知したり¹²、機械学習を使って血液サンプル分析から COVID-19 の死亡リスクを予測してトリアージを行ったり¹³ということを中国では行っている。英国では胸部 X 線の画像を使い、正常かどうかを AI が判断することで医師の診断をサポートしている¹⁴。

新型コロナウイルスに効く治療薬・ワクチンの発見・開発を加速するために、ドラッグリポジショニング¹⁵や AI 創薬¹⁶などで計算機を用いた候補の探索や効果の予測が試みられている。ドラッグリポジショニングは、ヒトでの安全性や体内動態が確認されている既承認薬について、新たな薬効を見だし、別の疾患に対する治療薬として開発する手法であり、AI 創薬は薬効や副作用を大量のデータから予測するデータ駆動型アプローチである。

SARS-CoV-2 や COVID-19 を理解するために、専門家やデータサイエンティストの知見を集めて、様々な分析・解明を進めるといった集合知の取り組みも活発化している^{17, 18, 19}。オープンデータをもとに、COVID-19 に関する状況分析・可視化を試みるデータサイエンティストや統計の専門家も出てきている。

ニューノーマル構築においては、遠隔医療が広まると想定されるが、そこでも Web 会議システム、オンライ

10 「Delivering information and eliminating bottlenecks with CDC's COVID-19 assessment bot」, 参照 2021 年 2 月 12 日, <https://blogs.microsoft.com/blog/2020/03/20/delivering-information-and-eliminating-bottlenecks-with-cdcs-covid-19-assessment-bot/>.

11 「イスラエル、新型コロナのハイリスク者を AI で特定」, 参照 2021 年 2 月 12 日, <https://www.technologyreview.jp/s/201780/israel-is-using-ai-to-flag-high-risk-covid-19-patients/>.

12 「中国は新型コロナウイルス感染症に『AI による診断』で対抗する」, 参照 2021 年 2 月 12 日, <https://wired.jp/2020/02/27/chinese-hospitals-deploy-ai-help-diagnose-covid-19/>.

13 「AI がトリアージする時代へ - 機械学習で COVID-19 死亡リスク予測」, 参照 2021 年 2 月 12 日, <https://aitimes.media/2020/03/23/4497/>.

14 「COVID-19 のトリアージ - 胸部 X 線画像を正常と診断する behold.ai の AI 技」, 参照 2021 年 2 月 12 日, <https://aitimes.media/2020/04/16/4675/>.

15 「FRONTEO、AI を利用した新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) に対するドラッグリポジショニングの研究を開始」, 参照 2021 年 2 月 12 日, <https://www.fronteo.com/20200417>.

16 「AI 創薬: 薬効や副作用を予測するデータ駆動型アプローチ」, 参照 2021 年 2 月 12 日, https://airimaq.kyushu-u.ac.jp/upload_file/editor_files/yamanishi_180515ito_submit.pdf.

17 「新型コロナの網羅的なデータセット構築・分析へ向け『COVID-19 チャレンジ』開催へ」, 参照 2021 年 2 月 12 日, <https://ledge.ai/covid-19-challenge/>.

18 「COVID-19 Open Research Dataset Challenge (CORD-19)」, 参照 2021 年 2 月 12 日, <https://www.kaggle.com/allen-institute-for-ai/CORD-19-research-challenge>.

19 「Fighting COVID-19 with Open Access and AI」, 参照 2021 年 2 月 12 日, <https://towardsdatascience.com/fighting-covid-19-with-open-access-and-ai-9a4df3cbe8c0>.

ンカルテといったICTが活用される。また、医療現場でもAIやSNS解析を利用して早期に感染症の発生を予知・検知して新型感染症に備える。

(3) 教育・研究におけるICTの利用

インフルエンザ流行時の学級・学校閉鎖と同様に、2020年2月下旬に全国の小中高校に休校（春休みの前倒し）の要請が出て生徒のCOVID-19感染を防ぐ対策を取った。しかし、COVID-19の感染拡大は4月になっても収まらず、逆に4月には緊急事態宣言が出されることになり、大学も含め学校教育をリモートで実施せざるを得ない事態となった。オンライン環境の整備度合いが家庭によって異なるという状況ではあったが、録画された授業を視聴する学習やWeb会議システムを使った遠隔授業を進めた。教科書に掲載されている著作物をインターネットなどによる遠隔授業で使えるようにする改正著作権法を施行する政令を政府が決定し、2020年度に限り補償金を支払わなくてよい、という措置もとられた。2019年末に打ち出されたGIGAスクール構想で、ICTを基盤とした先端技術の活用を目指していたが、COVID-19感染拡大でまったなしの状況になったとも言える。

ロボットを使って材料実験を行ったり²⁰、実験小動物自動飼育装置²¹を利用したりするなど、大学の研究においては実験や実験動物の世話など、人がやることを前提としている作業を、ロボット等を利用してリモートで操作できるようにする環境整備が進められている。

教育においてはリアルに集まることに大きな意味があることは疑問の余地がないが、ICTの活用には、授業のビデオを見直して復習し理解を深めることができたり、遠隔地にいても授業が受けられたりするというプラスの面があることも間違いない。したがって、中長期的には、マスクの着用、手洗いの徹底などの感染症予防策を講じながら、リアルな学習の場を継続すると共に、ICTを活用した録画授業や遠隔授業も併用されることが望まれている。

(4) 産業におけるICTの利用

産業界では、COVID-19感染拡大以前から推進されていたデジタルトランスフォーメーションや働き方改革が加速されることとなった。

ICTを利用して、サービスの提供者とサービスの利用者をマッチングするシェアリングエコノミーのためのプラットフォームと同様に、緊急事態宣言に伴ってレストランの利用者が急減したり、休校によって給食が中止になったりして余った食材をWebに掲載して、消費者からの直接注文を受け付けるというソリューションが作られた。

通勤環境や職場が3密となりやすいことから、テレワークに移行できる業種は全面的にテレワークに移行する動きが出た。これにともなって、従来余り使われていなかったWeb会議システムが急激に利用されることとなった。画面の向こうの人の感情が読めず、議論を尽くした、合意したという感覚が残らないという課題も顕在化した。また、UIの洗練が十分ではなく、ツールとしての使い勝手がよいとは言えない点も課題として残されている。たとえば、自分の音声や共有画面の適切なフィードバックがないために、「聞こえますか」、「見えま

20 Benjamin Burger et al., "A Mobile Robotic Chemist," *Nature* 583, no. 7815 (July 2020) : 237–41, <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2442-2>.

21 「実験小動物自動飼育装置Robo Rack®」, 参照 2021年2月12日, <http://glinx.co.jp/products02/>.

すか]、という会話が繰り返される。今後は、人間工学的な研究を反映したWeb会議システムの改善が望まれる。中長期的にも、継続してテレワークや、リモート採用面接などではWeb会議システムが利用されると思われる。

一方、製造業においては、中国からの供給が滞ったことによる生産中断が発生したり、世界的な経済活動の停滞による需要減が発生したりと、COVID-19拡大によって、サプライチェーンが大きく混乱し、マスクの供給が途絶えるような事態が発生した。中長期的には、AIを用いて需要予測の精度を向上させたり、IoTを活用したサプライチェーンの可視化を進めたりといった、デジタル化推進の必要性が認識されている。

表 1-3-2 新型コロナウイルスへの初期対応時と中長期対応時におけるICT利用

	初期対応		中長期対応	
	対策	ICTの利用	実施項目	ICTの利用
行政	感染拡大防止	感染モデル	行政事務のデジタル化	RPA
		パンデミック兆候検知		ICT全般
		個別追跡	市民のエンパワーメント	情報の周知 (Web、メール、SNS)
		モニタリング	行動変容促進	IoTデータ収集
		人間行動シミュレーション		シミュレーションに基づく 施策立案支援
	経済対策	オンライン申請	接触追跡	Bluetoothによる接触検知
	リスクコミュニケーション	インフォデミック対策		
データ収集・公開	携帯位置情報 オンラインアンケート ダッシュボード			
医療・ヘルスケア	診断	AI診断・トリアージ	オンライン医療	Web会議システム
	病床、機材、人材確保	情報収集・可視化		オンラインカルテ
	医療環境支援	対応自動化	新型コロナウイルス予防	AIによる感染予測
	治療薬開発	創薬・ ドラッグリポジショニング		SNS解析による早期の兆 候検知
	ワクチン開発	ウイルス解析		
研究・解明	集合知による研究・解明 の加速			
教育・研究	オンライン授業・講義 移行	Web会議システム	オンライン授業・講義・ 実技	ICT環境整備 (GIGAス クール構想等)
			オンライン実験	Web会議システム ロボット (AR、VR含む)
産業	テレワーク移行	Web会議システム	テレワーク	Web会議システム
	リモート採用	Web会議システム	リモート採用	Web会議システム
	廃棄食材削減・ 空き部屋活用	オンラインマッチング	DX	電子署名
	リソース割り当て最適化	最適化問題計算		RPA ブロックチェーン サイバーセキュリティ VR
		自動化 (無人化) 推進	ロボット (アバター、ド ローン、自動運転車含む)	

他にも、印鑑の廃止に伴う電子署名の利用、人手を介さずに定型処理を実行するRPA（Robotic Process Automation）の利用、価値の流通を促すブロックチェーンの利用等も加速すると思われる。よりサイバー空間の活用が進むので、サイバーセキュリティー、プライバシー保護などのセキュリティー関連技術は引き続き重要である。また人と人の接触機会を減らすことを目的に、様々な無人化が推進され、アバター、ドローン、自動運転車といったロボットが社会に浸透していくと考えられる。

1.3.4 国として推進すべき重点テーマ

日本・世界の研究開発の現状と我が国の課題を見据え、1.3.2節の考え方にもとづいて以下の21の重点テーマを抽出した。

（重点テーマ1）第4世代AI

深層学習と知識・記号推論を融合することで、現在の深層学習の課題を克服し、人間と親和性が高く、実世界で発達・成長するAIの実現を目指した研究開発テーマである。この実現に向けて、計算脳科学や認知発達ロボティクスのような知能に関する研究成果・知見が有用である。2020年度文科省戦略目標「信頼されるAI」にもこの方向性が盛り込まれている。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「2.1.1 知覚・運動系のAI技術」「2.1.2 言語・知識系のAI技術」「2.1.7 計算脳科学」「2.1.8 認知発達ロボティクス」を参照のこと（対応する戦略プロポーザル：CRDS-FY2019-SP-08「第4世代AIの研究開発－深層学習と知識・記号推論の融合－」）。

（重点テーマ2）信頼されるAI

AIのブラックボックス問題、差別・偏見問題、脆弱性問題、品質保証問題、フェイク問題等の解決という社会的要請を充足し、信頼される高品質なAI（Trusted Quality AI）を実現するための研究開発テーマである。国のAI戦略2019で重点課題と位置付けられ、2020年度文科省戦略目標「信頼されるAI」に反映されている。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「2.1.4 AIソフトウェア工学」「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-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」および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3）AIと人間の共進化

専門家等の高度なスキルをAIが学習し、より幅広い層の人々がそれを活用できるようにすることで、人間とAIの協調活動をレベルアップする研究開発テーマである。人間の創造的な活動の拡大、インクルージョンの促進等を狙う。これに関連するものとして、JST RISTEX「人と情報のエコシステム」やNEDO「人と共に進化する次世代人工知能」でも「AIと人間の共進化」の方向性が示されている。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「2.1.9 社会におけるAI」を参照のこと。

(重点テーマ4) 社会システムを支えるAIアーキテクチャー

AI技術がさまざまな社会システムに組み込まれて動作する世界（ユビキタスAI）において解決すべき技術課題として、多数のAIシステム/エージェント間の交渉・協調・連携や望ましいメカニズムデザイン、社会システムスケールの効率的な分散協調AIアーキテクチャー（AI向けチップから計算機クラスターやエッジ・クラウドまで総合的に捉えて）等に取り組む研究開発テーマ。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「2.1.3 エージェント技術」「2.1.5 意思決定・合意形成支援」「2.3.3 社会システムアーキテクチャー」「2.3.4 メカニズムデザイン」「2.5.1 プロセッサアーキテクチャー」「2.5.4 データ処理基盤」を参照のこと。

(重点テーマ5) AIと科学

AI・データ駆動科学によって科学的発見・理解を拡大・加速するための研究開発テーマである。人間の持つ現状の認知限界・認知バイアスを超えて、科学的発見の可能性を拡大するとともに、仮説生成・探索から実験による評価・検証という一連のプロセスを自動化して加速する。米国DOE・DARPA等で戦略的研究投資が計画されている。2020年度チーム活動で提言をまとめている。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「2.1.6 データに基づく問題解決」を参照のこと。

(重点テーマ6) AI×ロボット融合

人工知能研究とロボット研究を融合的に取り組み、両分野の共進的な進展を狙う研究開発テーマである。身体性を介して自らの行為と世界の間を学習することによる記号接地問題に対するブレイクスルーや、構造化されていない動的環境に柔軟に適応するロボットの実現を目指す。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「2.1.8 認知発達ロボティクス」「2.2.3 インタラクション」を参照のこと。

(重点テーマ7) 社会的に成長するロボット

人間の社会的行動を理解し、自らも社会的・道徳的規範に基づいた社会的行動をとることができるロボットの實現を目指す研究開発テーマである。インタラクションを通じた規範の学習と実装、言語的/非言語的な社会的合図の理解にもとづく対応、さらにロボットの自律性や人間とロボットの相互作用のレベル向上に伴う倫理と安全性の検討が求められる。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「2.1.8 認知発達ロボティクス」「2.2.11 ロボティクスと社会」を参照のこと。

(重点テーマ8) テレプレゼンス

遠隔操作するロボットを介して、周辺環境を知覚し、自由に行動するなど、あたかもその場にいるような体験ができる技術の實現を目指す研究開発テーマである。触覚・力覚等を含む感覚情報をユーザーにリアルタイムで伝送するためのセンサー技術、大容量・低遅延の双方向通信技術、ユーザーの意図・目標の推測に基づき半自律的に行動する共有自律システム、等に関する研究開発が求められる。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「2.2.3 インタラクション」を参照のこと。

(重点テーマ9) チームロボティクス

複数のロボットをチームとして再構成し、協調して行動することにより、様々な複雑なタスクに対し柔軟に対応できるロボットの実現を目指す研究開発テーマである。大規模な群行動における知覚-行動-通信のフィードバックループの形成、群れのダイナミクスと制御に関する数学的モデル化、状況変化に適応し障害に対して頑強で弾力性のあるチームの作成、等に関する研究開発が求められる。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「2.2.4 システム化技術」を参照のこと。

(重点テーマ10) Society デジタルツイン

社会課題解決を支援するために、IoT等のセンシング技術で取り込んだ実際の社会活動データを解析し構築された社会モデルを利用し、社会現象を模擬する社会シミュレーター実現に必要な研究開発テーマである。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「2.3.2 サービスサイエンス」「2.3.3 社会システムアーキテクチャー」「2.3.5 計算社会科学」を参照のこと（対応する戦略プロポーザル：CRDS-FY2019-SP-01「進化的社会システムデザイン ～自然科学と社会科学の連携協調による持続可能な社会の実現～」）。

(重点テーマ11) コグニティブセキュリティー

人間の認知や思考、意思決定などに悪影響を与える攻撃からの防御に関する研究開発テーマである。個人から国家まで幅広い影響を与えており、近年では米国DARPAでも安全保障上重要と考え、取組みを開始している。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「2.1.5 意思決定・合意形成支援」「2.4.3 データ・コンテンツのセキュリティー」を参照のこと。

(重点テーマ12) トラスト基盤

情報社会における安心・信頼の確保を目指す総合的な研究開発テーマである。人間の価値観や倫理観、制度による保証、情報技術による透明性・説明可能性の担保や意思決定・合意形成支援など、さまざまな面からのアプローチが必要である。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「2.1.9 社会におけるAI」「2.3.4 メカニズムデザイン」「2.4.4 トラスト」を参照のこと。

(重点テーマ13) Society 5.0プラットフォーム

サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会課題解決を両立するSociety 5.0のプラットフォーム構築を目指す研究開発テーマである。サービスプラットフォームの中でも、エッジからクラウドに至るCPSアーキテクチャーの最適化や、その実現に必要なシステムソフトウェア群の研究開発を含む。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「2.3.1 デジタル変革」「2.5.6 デジタル社会インフラ」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ー REALITY 2.0ー」）。

(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に関する研究開発テーマである。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・高度化を含む。このテーマは「(シナリオ2) 強い産業の発展・革新の推進」「(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「2.5.7 ブロックチェーン」を参照のこと(対応する戦略プロポーザル: CRDS-FY2019-SP-09「次世代ブロックチェーン技術 ~個人や社会のデータ共有・価値交換を安全で高信頼に実現する~」)。

(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ーの研究開発テーマである。数百メートル四方の広さのあるような大規模データセンターにおいて必要となる、物理的な制約も考慮したサーバー、ネットワーク、ストレージの配置や処理方式の最適化に関する技術。高速不揮発メモリーや高速インターコネクトなどのハードウェアや活用するためのOS、ミドルウェアなどのソフトウェアも含まれる。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「2.5.3 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・ノイマンコンピューティング

ニューラルネットワークや組合せ最適化を高速に実行するハードウェアや、そのための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研究開発テーマである。ムーアの法則の陰りやアーキテクチャーの工夫を必要とする新しいタイプの情報処理が現れたことで、フォンノイマン型コンピューティングにも限界が感じられるようになってきたことを背景に、注目を集めている。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「2.5.1 プロセッサアーキテクチャー」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) 量子コンピューティング

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である。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「2.5.2 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ーの研究開発を行うテーマである。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「2.5.5 IoTアーキテクチャー」「2.5.6 デジタル社会インフラ」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である。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「2.3.3 社会システムアーキテクチャー」「2.5.4 データ処理基盤」を参照のこと。

(重点テーマ20) 数学と情報科学

数学や数理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である。数学は自然科学・工学全般の基礎力を高めると共に、数学の持つ抽象性に基づいた応用による産業上の効果も期待される。科学技術的な側面に加えて、数学と自然科学・工学との連携や、国際協力も踏まえた数理学への投資と人材育成も重視する。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。

(重点テーマ21) ニューノーマルとDX

仕事、学校、政府などのオンライン化やデジタルトランスフォーメーション(DX)により高まるITへの期待に応えるための研究開発テーマである。科学技術的な課題解決に加えて、新しい生活様式への変革、感染予防と両立する経済活動の変革、社会基盤の変革など、社会との相互作用の中でのITの研究開発が必要である。研究開発活動のDX(リサーチトランスフォーメーション:RX)も含む。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。

1.3.5 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・システムを考える必要がある。本項では、「(重点テーマ1) 第4世代AI」「(重点テーマ10) Society デジタルツイン」「(重点テーマ14) ブロックチェーン」「(重点テーマ20) 数学と情報科学」の推進方法を例にその留意点について述べる。さらに、新規分野創出への取り組みについても述べる。

(1) 第4世代AI**[研究開発推進の時間軸]**

第4世代AIの研究開発は、現在の探索フェーズから急速に競争フェーズに移行すると見られる。そのため、推進プログラム(例えばJST戦略的創造研究推進事業)を早急に立ち上げ、推進することが望ましい。以下のように機能実現型の研究開発課題と原理探求型の研究開発課題では、それぞれの時間軸は図1-3-1に示したように異なるものとしてマネジメントすべきであろう。

- ・機能実現型の研究開発課題：3-5年程度で成果を実応用に展開しつつ、原理探求型の成果も取り込み、段階的に進化させる。
- ・原理探求型の研究開発課題：10年かけて長期的に取り組むが、機能実現型の実績・効果も踏まえ、相乗効果の中で進化させる。

現在のAIが抱える問題への対処は、市場や産業界から既に求められていることである。そのため、機能実

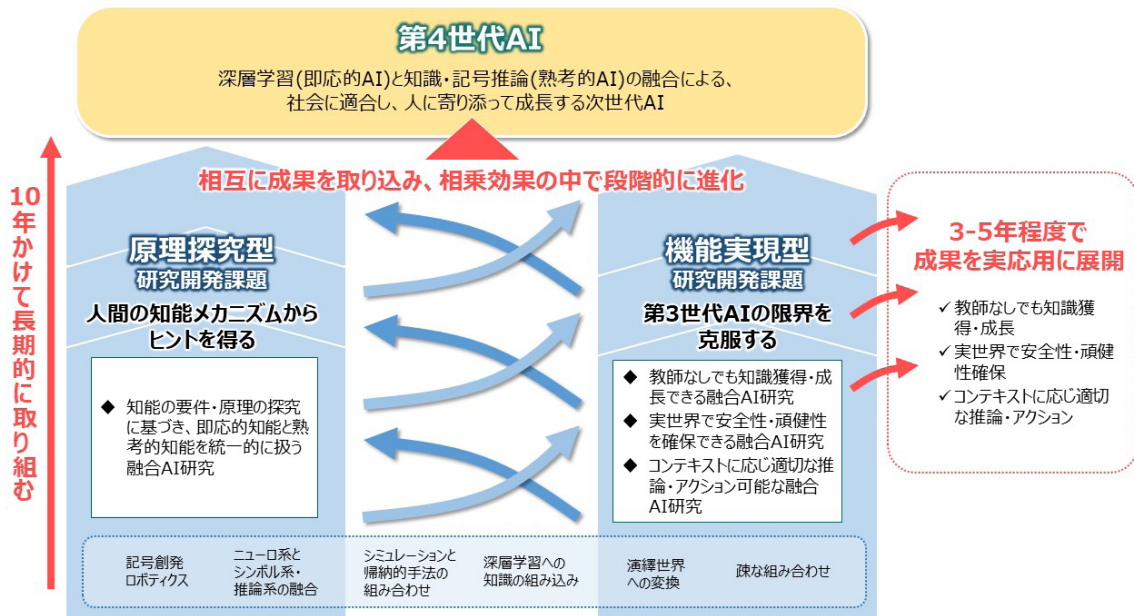


図1-3-1 重点テーマ「第4世代AI」の推進方法と時間軸

現型の研究開発課題については、問題軽減や部分解決であっても、実応用への早い展開が求められる。しかし、問題自体が簡単なものではないため、ある程度のところで行き詰まるであろう。そのとき、原理探求型の研究開発が少しずつでも進展しているならば、その成果や知見がヒントとなって、機能実現型の研究開発の行き詰まり打破につながるかもしれない。なお、この機能実現型の取り組みは、早い成果展開が求められるが、対処療法的なレベルで解決できるものではなく、問題の本質をきちんと定式化・抽象化して捉えることが重要である。

一方、10年かけて長期的に取り組む原理探求型の研究開発の側も、機能実現型の取り組みからヒントを得るかもしれない。例えば、3つの機能実現型の研究開発のそれぞれで多少なりともゲインが得られたならば、それらの共通要因や効果的な要因を見極めることが、原理探求型の研究開発の方向性を考えていく上で有用な情報になるはずである。

このような形で、機能実現型の研究開発と原理探求型の研究開発の間で、相互に成果を取り込み合い、相乗効果を生むことで技術進化を加速させる。

【研究リソースの強化】

新しい第4世代AIの研究開発で先行できるように、研究開発を推進する研究リソース（人材、データ、計算機）の強化が必要である。人材、データ、計算機の3面について、懸念事項を踏まえた強化策を表1-3-3にまとめた（参考：戦略プロポーザルCRDS-FY2019-SP-08「第4世代AIの研究開発－深層学習と知識・記号推論の融合－」）。

人材面での懸念事項は、産業界では性能の高さやビジネスでの競争面、大学では取り組みやすさや論文成果の出しやすさの面から、深層学習の研究開発に人材が偏重していることである。この状況の中で、第4世代AIに新たに取り組む研究者層を厚くしていく必要がある。ここで、AIリーダー層は第4世代AIの方向性の

表 1-3-3 研究リソースの強化策

	懸念事項	強化策
人材	<ul style="list-style-type: none"> 産業界は性能の高さやビジネスでの競争面、大学は取り組みやすさや論文成果の出しやすさの面から、深層学習の研究開発に人材が偏重 	<ul style="list-style-type: none"> 若手の取り組みを強化。戦略的ファンディングや学会ムーブメント施策によって活性化 原理探求型と機能実現型の取り組みの交流、AI研究者と人間知能に関わる研究者との連携を活性化するためのマネジメント システムアーキテクチャー設計・開発能力のある人材の確保・育成
データ	<ul style="list-style-type: none"> AI研究は大規模な実データのあるところで進展するが、第4世代AI研究に必要な実世界における行為の連鎖等を記録したエクスペリエンスデータの大規模構築は世界的にほとんど未着手 	<ul style="list-style-type: none"> 重点産業ドメイン（製造業・ロボット・教育・医療等）を定め、産官学で連携して大規模データ構築・活用で先行 既存応用からデータを取得するというよりは、新しいリモート系インタラクティブ応用を試験的にスタートさせて、研究用の実データを大規模収集する方策も検討
計算機	<ul style="list-style-type: none"> 機械学習を用いた最先端アルゴリズムの研究開発には、大規模な計算資源が不可欠で、大学や研究室単独ではその確保が極めて難しくなっている 	<ul style="list-style-type: none"> 産総研の「ABCI」、理研の「富岳」「RAIDEN」等の計算資源の共同利用と継続的な増強が重要

重要性を認識しており、若手の取り組みの活性化がポイントになる。戦略的ファンディングや学会ムーブメント施策等によって、活性化を促進したい。また、原理探求型と機能実現型の取り組みの交流や、AI研究者と人間知能に関わる研究者（脳科学、発達ロボティクス、認知科学、行動経済学、心理学等）との連携を活性化することが重要であり、そのためのマネジメントの役割が大切になる。加えて、要素技術にフォーカスした研究開発だけでなく、AIシステムアーキテクチャーの設計や、実世界インタラクションを含めたシステム開発等の能力も重要になってくる。純粋な学術研究者だけではない人材の確保・育成も必要である。

データ面での懸念事項は、第4世代AI研究に必要なエクスペリエンスデータの大規模構築が世界的にほとんど未着手である点である。その構築で先行することが、研究開発の優位性に結び付く。エクスペリエンスデータとは、実世界における行為の連鎖に関わるデータの束（五感や発話を含む行為者や環境の状態の観測データ群）である。重点産業ドメイン（製造業・ロボット・教育・医療等）を定め、産官学で連携して大規模データ構築・活用で先行するような動きを作りたい。その際、既存応用からデータを取得するというよりは、新しいリモート系インタラクティブ応用を試験的にスタートさせて、研究用の実データを大規模収集する方策も検討したい。

これらの側面に加え計算機面での課題にも注意が必要である。機械学習を用いた最先端アルゴリズムの研究開発には、大規模な計算資源が不可欠で、大学や研究室単独ではその確保が極めて難しくなっている。この問題に対して、産業技術総合研究所（産総研）の「ABCI」、理化学研究所（理研）の「富岳」「RAIDEN」等の計算資源の共同利用を促進すべきであり、また、計算資源の継続的な増強が重要である。

(2) Society デジタルツイン

社会のデジタルツインのように情報科学分野と社会科学分野が連携して推進する研究においては、着手できるところから始めるということも重要である。現状得られるデータで描ける社会モデルを構築するところから始め、描けた社会モデルに基づいてシミュレーションを進め、精度を高めていく。その際、社会モデルの構

築からシミュレーションに至るプロセスと、シミュレーション結果とをオープンにすることで、外在的な視座からのさまざまな指摘を受けることになるので、その指摘を段階的に取り込んでいくことが重要である。データの偏りやELSI、少数派の扱いなど、人文学的な問題意識や多くの意見をつまびらかにしつつ、それらの課題を一つ一つ、多くの関与者とともに整理していくことが必要である。

段階的に、あるいは並行して適用範囲を広げていき、スマートシティやシビックテックの取り組みとの連携といった、実社会での課題解決に向けた実験的活動にも取り組んでいくことが考えられる。それに向けたシミュレーションを行い、より多様なステークホルダーからのさまざまな指摘を受け止め、少しずつ改善していき、そのプロセスで関与者との対話を広げながら、社会の課題の解決に向けたシミュレーションとして、精度とともに社会からの受容性も高めていく。また、計算機の中のシミュレーションでは発見できない思わぬ事象、ユーザー側の共感や忌避感などは、実際にユーザーの体験を共有していくことで顕在化する面があるだろう。試行錯誤を重ねながら実装されていくことが重要となる。

このように、社会科学の問題意識にのっとり、情報科学の手法でフィジカル世界をサイバーに投影し、シミュレーションを重ね、最適解を模索し、現実世界へのフィードバックを試みるそのプロセスと結果は常にオープンにして、社会科学や人文学、広くさまざまなステークホルダーの議論を喚起することが重要である。もちろん、初期の段階から一部でもステークホルダーを巻き込んだ取り組みを試行することは奨励すべきである。

また、基本的な価値観の優先順位を切り替える場面もありうる。例えば、コロナ禍の緊急事態下において、感染の拡大を把握、抑制する観点から個人の行動をトレースすることの可否を判断するように、どのような条件なら個人のプライバシー保護を緩めることができるか、というような社会における価値判断（比較衡量）を必要とする事例がありうる。社会としてどこまで規制を強化したり緩めたりするか等、有事に備えた検討を行

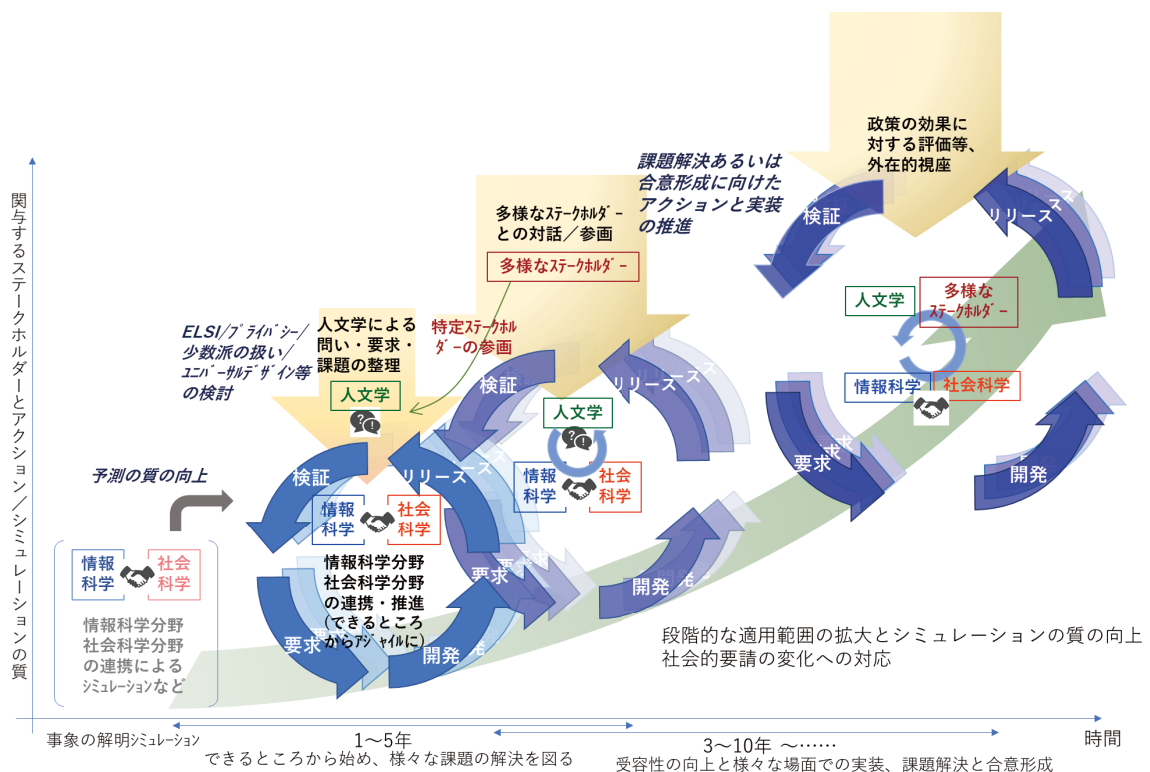


図1-3-2 重点テーマ「Societyデジタルツイン」の推進方法と時間軸

うにあたって、計算社会科学はシミュレーションの予測結果というエビデンスを持って議論・合意形成のための素材を提供することができる。

これらのプロセスの中で、人間をどこまで客体化して扱いうるか、少数派への対応やセーフティーネットによりどこまでカバーするか、自治体などの行政がカバーする範囲はどこまで、市民社会が担う範囲はどのあたりか、といった論点も深められていくことが期待される。

上記のような取り組みを加速するため、現実の社会の課題解決に向けた計算社会科学を推進するファンディングプログラムが設定され、新たな研究コミュニティの育成と社会課題解決型研究開発の双方の推進を図ることが重要である。プログラム設計においては、研究コミュニティだけに留意するのではなく、多様なステークホルダーの参画を促すことや、現実の課題を抱える自治体などの参画が重要であり、柔軟で機動的な運用が可能となるような設計に留意すべきである。

(3) ブロックチェーン

[研究開発による基礎基盤の確立]

自由な発想に基づく基礎研究を推進すると同時に、研究者が集うインキュベーションプラットフォームを構築することで、多種多様な研究成果の創出と新たなコミュニティの育成を行う。これにより、現状エンジニアリングが先行し、基礎・基盤的な研究開発が追いついておらず、研究者コミュニティが分散している状況を打開する。

インキュベーションプラットフォームとは、従来往来のなかった暗号技術・P2Pネットワーク・分散合意形成・制度設計等の異分野の研究者がブロックチェーンをキーワードにして集って切磋琢磨する研究開発ハブである。次世代ブロックチェーン技術の研究分野および研究者コミュニティを醸成する。その結果、かつて、インターネットの黎明期にアカデミアが中心となって活躍した米国NSFNetや日本のWIDEプロジェクトが果たした役割、例えば、キラーアプリケーションや社会変革に繋がる萌芽的成果が生み出されることを期待する。

[わが国の国家的社会基盤への適用]

わが国では、2019年に行政の手続きをワンストップ化する通称「デジタル手続き法案」が成立した。また、当時の首相は、信頼ある自由なデータ流通としてDFFT（Data Free Flow with Trust）構想について、ダボス会議（2019年1月23日）やG20大阪サミット（2019年6月29日）で世界に提唱した。どちらも今後は、生産性向上やイノベーションにおいて、デジタルデータの活用と流通がキーであり、改ざん、プライバシー、データ保護などのセキュリティーに関わる課題の対処が必要であると提言した。ブロックチェーン技術はこれらの課題に対するソリューションを提供することが可能である。

[ブロックチェーンの活用と影響を議論する場の設定]

ブロックチェーン技術の潜在的な革新性を考慮すると、人間や社会への影響に関する議論と同様の議論の場が必要である。ブロックチェーン技術の本質的な洞察（真価の発現とリスクの回避など）を議論する場をもうけて、定期的にワークショップやセミナーを開催し、質の高い報告書や提言書を発行することが望ましい。ここで参考となるのは、ブロックチェーンによるイノベーションの加速とEU内のブロックチェーンエコシステムの開発を目的に設立されたEU Blockchain Observatory and Forumの活動である。100名規模の有識者によるフォーラム活動を精力的に実施し、“Blockchain Innovation in Europe”、“Blockchain and the GDPR”、“Blockchain for Government and Public Services”等の質の高いレポートを発行している。具

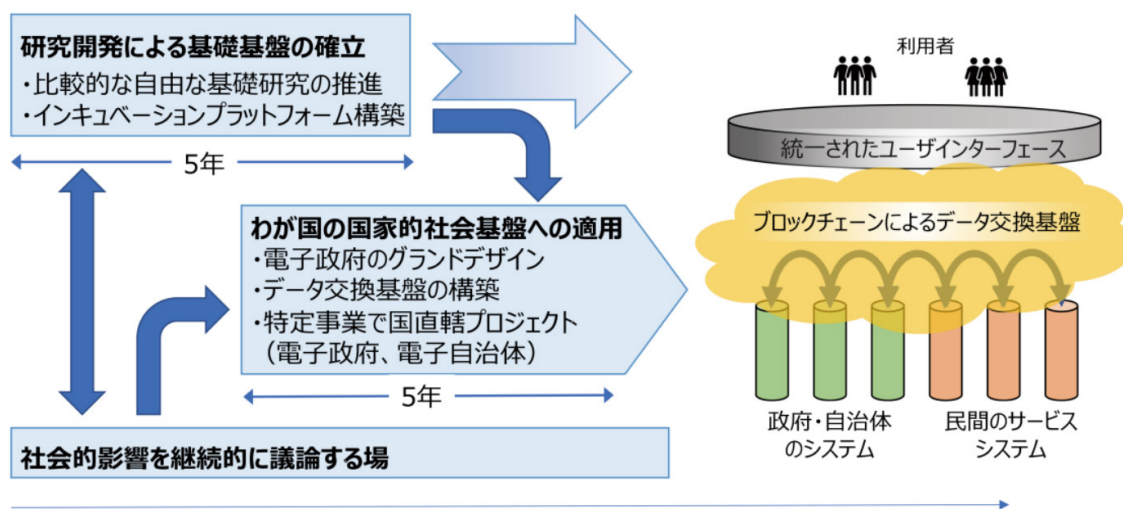


図1-3-3 重点テーマ「ブロックチェーン」の推進方法と時間軸

体的な会議の母体は基本的に以下に示すような既存の組織において定常的に実施する形でよい。

- ・電子政府に関する議論：内閣府IT戦略室など
- ・金融分野における議論：金融庁Fintech室、日本銀行金融研究所など
- ・イノベーションに関する議論：経済産業省RIETIなど

情報交換・議論の機会を設けたり、社会からの意見を聞く機会として、合同でセミナーやワークショップを開催することも重要である。また、情報システムにおける議論に関しては、EU Blockchain Observatory and Forumやコンサルファームと意見交換する必要がある。

(4) 数学と情報科学

数学は自然科学・工学、社会科学や医療の基礎力を高める要である。数学の持つ抽象性は思考の整理や課題の本質の洗い出しに役立ち、技術の汎用性の確保にもつながる。とりわけ、データドリブンな結果・答への評価や確率的に起こるイベントへの予測などで数学は力を発揮する。また、アルゴリズムを通したコンピューターサイエンティストと数学者の交流や共同作業は実りが多く、産業上の効果も報告されている。

このような数学と情報科学の交流がもたらす効果の検証には、まずアカデミアと産業界の双方における最新の研究開発の情報を収集する必要がある。研究開発動向に加えて国内外の研究開発投資の現状把握、そして数学界と諸科学分野との連携の実態に関する調査をシーズとニーズ双方の視点から行うべきである。

数学に関連した戦略的な研究開発テーマは、上記のような俯瞰的調査に基づき設定する必要がある。システム・情報科学技術に対する理論的基盤構築や連携による新たな学問領域創成のためには、数学と情報科学に関する重点テーマの設定に加えて、理論の探求と実践を両立することのできる行動力とビジョンを持った人材の育成が肝要である。具体的には、数学的基盤に深く根差しながら、応用となる対象領域にも深い理解を持ち、新分野へ挑戦できる人材である。

これらの取り組みは、我が国の数学と自然科学、工学、社会科学や医療との豊かな連携を実現に導く第一歩となる。

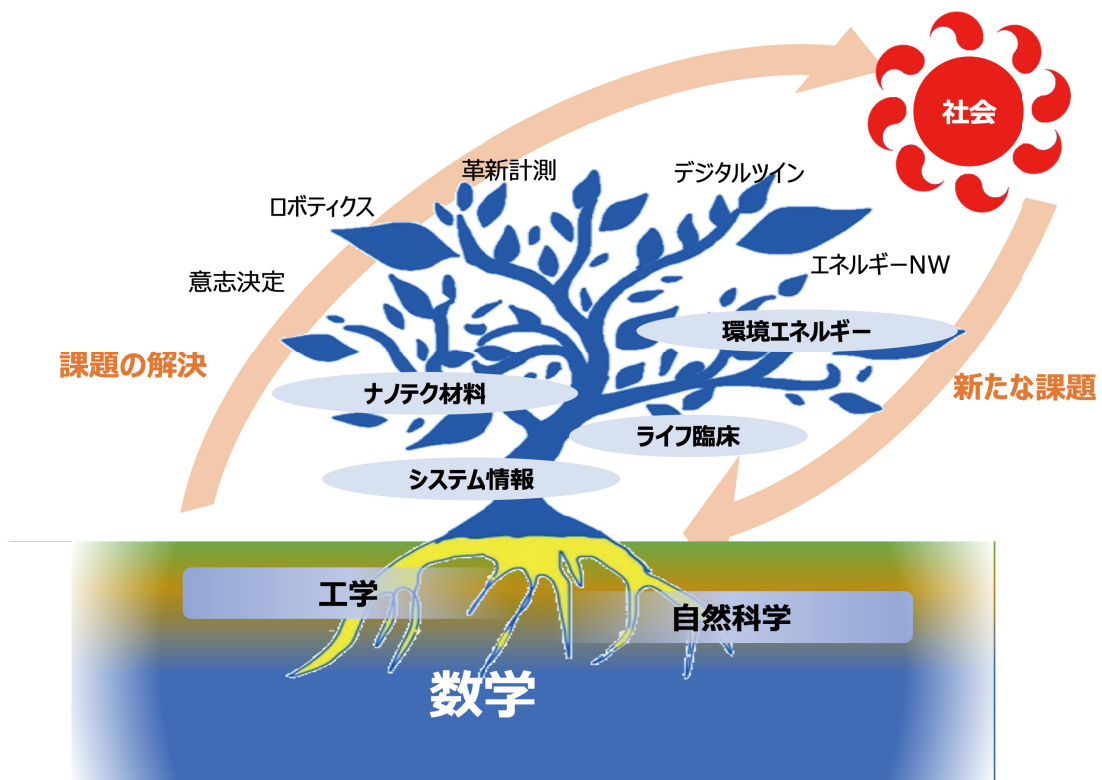


図1-3-4 重点テーマ「数学と情報科学」の考え方

(5) 新規分野創出への取り組み

上記(1)から(4)は1.3.2で述べた4つの基本的な考え方に基づいて抽出した、国として推進すべき重点テーマごとの推進方法であった。重点テーマの抽出では、育ちつつある技術にも目配りをしているが、日本発の新しい研究・技術を生み出すためには重点テーマの推進だけでは不十分である。新規分野を生み出す機会としては以下のようなものが考えられる。

[基礎研究者層の充実]

研究者の興味に基づいた多様な研究を進める中から新規分野を作り出すために、基礎研究者の層を厚くする。研究者本人は、オリジナリティーを強く意識した論文を多数書いたり、その研究の重要性を自ら語ったりする必要がある。そういった意識を強く持った人材を育成する一方で、新規分野が分野として育つためには、これまで見たこともない研究を、先見性を持って注意深く評価できる環境が整っている必要がある。そういった環境を整えることで、新規分野にチャレンジするモチベーションも高まる。

[戦略研究辺縁からの創出]

戦略に沿って研究を進める中からでも、新規分野は生み出される可能性がある。当初計画していた研究を進める中で、当初の目的とはずれるが、新規分野につながるようなアイデアを思いつく可能性がある。新規分野を生み出す可能性は基礎研究を進める場合に比べると低いかもしれないが、当初の研究成果に加えて新規分野の創出が期待できる。この場合も新規分野としての可能性を見抜く、目利きが必要である。

[社会課題解決型研究からの創出]

戦略研究だけでなく、未来社会創造事業やムーンショット型研究開発事業でも、新規分野が生み出される可能性がある。この場合、研究領域の辺縁だけでなく、当初の課題から派生する課題を考えることができ、解くべき課題に広がりがあるので、当初の課題に関連する別の課題に対応したり、課題を一般化して対応したりすることで新規分野の研究が創出される可能性がある。

いずれの方法においても、他の研究者との交流が重要である。同じような領域の研究者との交流はもちろんだが、数学・物理・化学・ライフサイエンスといった異なる自然科学の研究者や、政治学・法学・経済学といった社会科学の研究者との交流も重要だし、そういった異なる領域の研究者とのコミュニケーションの方がより、新規領域を生み出すアイデアを得やすいのではないだろうか。さらに、社会課題解決型研究では、研究者だけではなく、課題を抱える一般市民や、そういった課題を解決することをビジネスとしている企業といった、研究者ではない人たちとのコミュニケーションが研究を進める上でも必要だし、新規分野につながるアイデアを生み出すためにも重要である。こういった異分野との交流は、情報科学における新規分野だけでなく、相手の分野にとっても新たな分野を生み出す。たとえば社会科学においては、AIやIoTといったICT技術の社会浸透が、社会の考え方にどのような影響を与え、社会にとっての価値がどう変化するのか、といったことを研究することは新分野領域となるはずである。企業においては、新たなビジネスを生み出すことにつながる。

上記の三つの取り組みの量的バランスを戦略的にコントロールし、それぞれの取り組みにおける他分野とのコミュニケーションを活性化するなかから、新規分野と共に、新たなイノベーションを生み出すイノベーションエコシステムが誕生するのではないだろうか。