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。新型コロナウイルスの感染拡大に際しては、デジタル変革の有効性が世界各国で実証され、ITの重要度は増すばかりである。 ITによる変革は、ナノテクノロジーやライフサイエンスなどの科学技術の発展にも大きく貢献している。

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。国際的には国連開発計画（UNDP）が掲げる「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。現在策定中の第6期科学技術基本計画でもSociety 5.0の実現にむけた知識集約型の価値創造システムの構築に、システム・情報科学技術は引き続き重要な役割を果たすものと考えられる。また、新型コロナウイルスの感染拡大により、政策から生活様式までさまざまなレベルでの変革が余儀なくされたが、ここでもシステム・情報科学技術の重要度が浮き彫りとなった。社会課題の解決と世界の持続的発展に貢献し、人間主体のインクルーシブ社会の実現にむけたシステム・情報科学技術が目指すビジョンは以下の3つの方向性を含む。

（ビジョン1）サイバー世界とフィジカル世界の高度な融合

サイバー世界とフィジカル世界の融合により、産業構造や社会システムの変革をもたらす。 Internet of Things（IoT）やサイバーフィジカルシステムは、私たちの社会生活を支える基盤となると期待される。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、多くの産業における効率化や省エネルギー化に貢献する。

（ビジョン2）データ駆動型・知識集約型の価値創造

ITは人類全体の知の向上やその活用に大きく貢献し、価値創造のあり方も変容する。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や人工知能（AI）技術、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、データ駆動型・知識集約型の価値創造が加速されると期待される。同時に、ITは教育や研究の発展に寄与する重要な基盤となる。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などに寄与する。また、機械学習を積極的に利用した新しい研究開発方法論や、それによる科学的新発見の加速など、研究開発システムにおけるデジタルトランスフォーメーション（DX）も進むと考えられる。

（ビジョン3）社会課題解決と人間中心社会の実現

ITと社会との相互作用は、社会システムとそれを実現する技術の双方に、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システムデザインが促進される。ITによる人間の労働の代替は今後も様々な面で行われるが、あくまで人間の判断や決定を補助する道具として働く。過度の依存や、悪用による意思決定の操作、創造性の阻害などに対し、研究開発の初期の段階から適切な対処がなされる。

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3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ー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

本俯瞰報告書ではITの進化の流れを大きな3つのトレンドで捉える（図1-1-1）。まず「（トレンド1）あらゆるもののデジタル化・コネクティッド化」によって「（ビジョン1）サイバー世界とフィジカル世界の高度な融合」が進んだ。その上で「（トレンド2）あらゆるもののスマート化・自律化」が加わったことにより、システム・情報科学技術の社会的影響は急激に拡大、「（ビジョン2）データ駆動型・知識集約型の価値創造」へと発展した。いずれも、技術トレンドが新たな価値を生んだ結果としてのビジョンという関係である。

2010年代からはこれらとは逆に、ビジョンや価値要請から技術のトレンドが生まれた。とりわけ「（ビジョン3）社会課題解決と人間中心社会の実現」を目指して「（トレンド3）社会的要請との整合、人間の主体性確保」という動きが活発化し、現在に至る。3つの技術トレンドについて、以下に述べる。

（トレンド1）あらゆるもののデジタル化・コネクティッド化

第1の変化は、情報通信の無線化・大容量化・グローバル化である。社会基盤となるあらゆるもののデジタル化とコネクティッド化が進み、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。

ウェブにはじまり、スマートフォン、IoT、クラウドコンピューティングなど、機器や人をクラウドにリアルタ

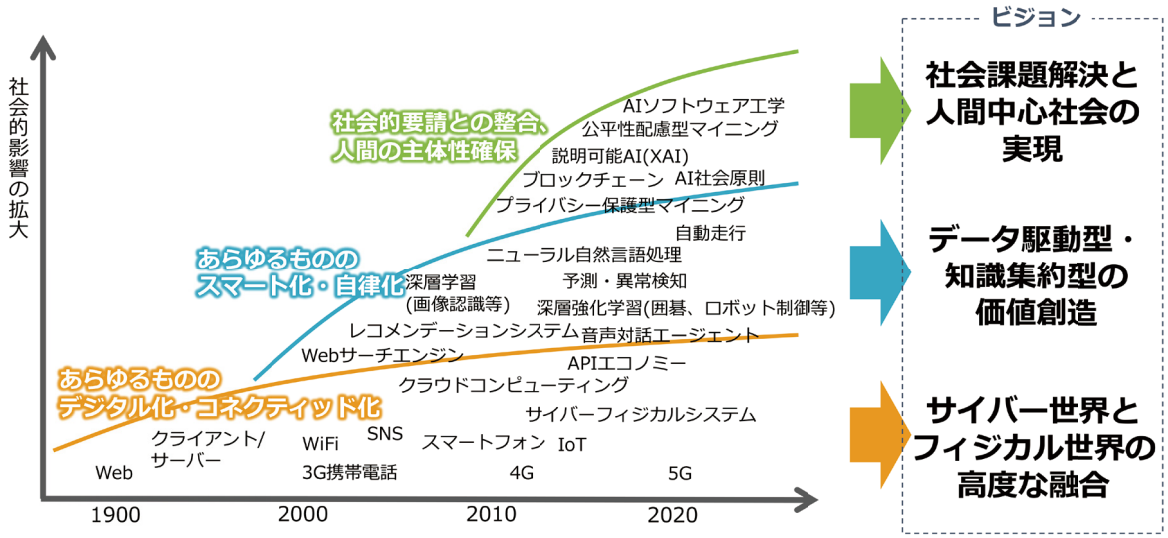

図1-1-1　　システム・情報科学技術分野のビジョンとトレンド

イムにつなぐことが可能となり、サイバーフィジカルシステムは高度化・複雑化した。一方で、セキュリティー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。

デジタル化・コネクティッド化により、サイバー世界とフィジカル世界の高度な融合が実現し、一体的な最適化が可能となる。また、あらゆるものがつながることで、世界規模のコミュニケーションも迅速化・効率化した。続く2つのトレンドは、この技術トレンドにより生み出された技術基盤を前提とする。

（トレンド2）あらゆるもののスマート化・自律化

第2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多数生み出され普及した。

高度なタスクの自動化や、人間が把握できていなかったことへの対応など、新たなサービスが生み出されている。多くのサービスでは、データに基づく課題解決が付加価値創造の中心的な役割を担っている。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。機械学習や自然言語処理、自動走行などの技術を利用したサービスは、データ駆動型・知識集約型の価値創造へと向かっている。

（トレンド3）社会要請との整合、人間の主体性確保

第3の変化は、研究開発活動あるいは科学技術そのものに対する社会からの要請の高まりである。データに関するプライバシーの考慮や、AI技術の利用により基本的人権の侵害がないよう定める「AI社会原則」、公平性、説明可能性、透明性などによりAI技術へのトラストの担保など、システム・情報科学技術には多くの社会的要請が寄せられている。システム・情報科学技術は社会に大きな便益をもたらす反面、社会に大きな影響を与えうるため、研究開発と社会実装の適切な段階で、社会の要請を取り入れることが重要である。全体としては、社会課題を解決しつつ、人間中心社会の実現という大きな挑戦に向かっている。

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」「社会の要請・ビジョン」「社会インパクト」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」では、技術の革新性やその技術への期待の急速な高まりに注目する。主にこの基準によって選ばれた研究開発領域には「2.1.1 知覚・運動系のAI技術」や「2.1.4 AIソフトウェア工学」、「2.5.7 ブロックチェーン」などが挙げられる。

（選定基準2）社会の要請・ビジョン

「社会の要請・ビジョン」では、社会からの要請や国のビジョンとの整合性に着目する。主にこの基準によって選ばれた研究開発領域には、「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」「2.4.1 IoT・制御システムセキュリティー」などが挙げられる。

（選定基準3）社会インパクト

「社会インパクト」では、人々のライフスタイル・ワークスタイルや社会・産業構造の変革、SDGsを含む社会課題解決への貢献に着目する。主にこの基準によって選ばれた研究開発領域には、代表例は「2.1.9 社会におけるAI」「2.3.1 デジタル変革」「2.5.6 デジタル社会インフラ」などが挙げられる。

図1-1-2のとおり、選定された36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「あらゆるもののデジタル化・コネクティッド化」「あらゆるもののスマート化・自律化」「社会的要請との整合、人間の主体性確保」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」「セキュリティー・トラスト」「コンピューティングアーキテクチャー」の5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（2019年）」（以降、2019年版）で扱った4俯瞰区分は、本「研究開発の俯瞰報告書（2021年）」（以降、2021年版）では5俯瞰区分に変更した。変更内容は以下のとおりである。

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については、2019年版では「社会システム科学」区分で扱った。また、プライバシーの保護とデータ利活用に関する事柄は2019年版では「人

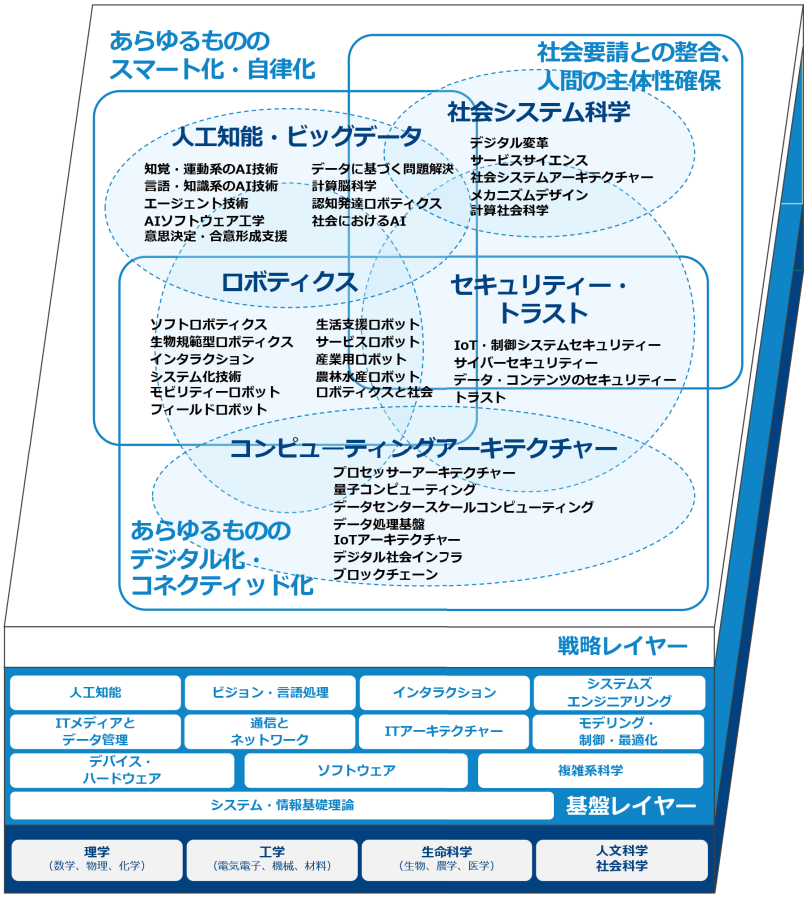

図1-1-2　　システム・情報科学技術分野の俯瞰

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「コンピューティングアーキテクチャー」区分にて、それぞれ取り扱われていた。2021年版では、これらの別の場所にあったセキュリティーに関連する研究開発領域を1つの俯瞰区分に集める変更を行った。表1-1-1に、5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）・ビッグデータでは、「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。

現在のAI技術（ここでは「第3世代AI」と呼ぶ）は、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が、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。このような問題の克服に向けて、画像・映像認識や運動制御のような「2.1.1 知覚・運動系のAI技術」と、自然言語処理のような「2.1.2 言語・知識系のAI技術」の融合による「第4世代AI」の研究開発が進み始めた。知覚・運動系、言語・知識系のそれぞれのAI技術においても、深層学習・深層強化学習・深層生成モデル・自己教師あり学習等の技術発展が進んでいることに加えて、「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「第4世代AI」の研究開発では重要な役割を果たす。そのようなAIと人間あ

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 知覚・運動系のAI技術 2.1.2 言語・知識系のAI技術 2.1.3 エージェント技術 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 認知発達ロボティクス 2.1.9 社会におけるAI
2.2 ロボティクス	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 2.2.3 インタラクション 2.2.4 システム化技術 2.2.5 モビリティーロボット 2.2.6 フィールドロボット 2.2.7 生活支援ロボット 2.2.8 サービスロボット 2.2.9 産業用ロボット 2.2.10 農林水産ロボット 2.2.11 ロボティクスと社会
2.3 社会システム科学	2.3.1 デジタル変革 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 2.3.4 メカニズムデザイン 2.3.5 計算社会科学
2.4 セキュリティー・トラスト	2.4.1 IoT・制御システムセキュリティー 2.4.2 サイバーセキュリティー 2.4.3 データ・コンテンツのセキュリティー 2.4.4 トラスト
2.5 コンピューティングアーキテクチャー	2.5.1 プロセッサーアーキテクチャー 2.5.2 量子コンピューティング 2.5.3 データセンタースケールコンピューティング 2.5.4 データ処理基盤 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 2.5.7 ブロックチェーン

るいは複数のAI間の関係が「2.1.3 エージェント技術」によって広がりを見せている。

その一方で、AI技術が社会に広がり、「2.1.9 社会におけるAI」という視点からAI社会原則・AI倫理指針が国・世界レベルで議論され、「信頼されるAI」のための技術開発も重要な研究課題となっている。具体的には、AI応用システムの安全性・信頼性を確保するための「2.1.4 AIソフトウェア工学」、フェイクが社会問題化する中で人間の思考に着目した「2.1.5 意思決定・合意形成支援」、AI・ビッグデータ技術を活用した社会・産業・科学の変革に関わる「2.1.6 データに基づく問題解決」への取り組みが進展している。

（2）ロボティクス

ロボティクスは、情報空間と物理空間との相互作用に不可欠な要素になりつつある。近年、人とかかわる環境への導入を念頭に、材料レベルの見直しも含んだ「2.2.1 ソフトロボティクス」、生物の動作機構に習う「2.2.2 生物規範型ロボティクス」などの開発が注目されている。また新型コロナウイルスの感染拡大を機に、コミュニケーションのあり方が見直され、視聴覚情報のやりとりのみならず物理的な相互作用も含んだ「2.2.3 インタラクション」が注目されている。ハードウェアとサービスを含む、全体の「2.2.4 システム化技術」は、単体のロボットシステムに留まらず複数のロボットがシステムとして動的に協調するための技術として重要度が増している。

用途としては「2.2.6 フィールドロボット」「2.2.7 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。これに加えて「2.2.8 サービスロボット」「2.2.10 農林水産ロボット」など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。「2.2.5 モビリティーロボット」において、自律走行車はロボティクス技術が実社会に浸透した事例と言え、さらに空中ロボットや空飛ぶ車への発展が期待されている。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、「2.2.9 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。多様な面で社会実装が進むロボティクスでは、「2.2.11 ロボティクスと社会」のあり方を考えることもますます重要になってきている。

（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、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「2.3.1 デジタル変革」を中心と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）や、新型感染症の拡大といった突発的な社会変容に必ずしも追随できていない状況である。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にむけ「2.3.2 サービスサイエンス」や「2.3.3 社会システムアーキテクチャー」の取り組みが重要と考えられる。

また、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。このような問題の解決に向け、「2.3.4 メカニズムデザイン」や「2.3.5 計算社会科学」など、社会科学的な視点を含む総合的な取り組みが必要である。

（4）セキュリティー・トラスト

インターネットの急速な発展とネットワークの複雑化、IoT（Internet of Things）といった新しい仕組みの登場に伴い、情報システムや情報サービスのセキュリティー、およびそれらを安心して利用できるよう信頼を確保するためのトラストが重要になってきている。

パソコンやスマートフォンなどの従来の情報端末に加え、家電、医療、工場・インフラなどの産業用途、自

動車・宇宙航空など、更なるIoT化の進展が見込まれている。一方、セキュリティーのリスクは増大しており、ソフトウェアやハードウェア、ネットワークなど、広範かつ縦断的なセキュリティー確保が必要となってきている（「2.4.1 IoT・制御システムセキュリティー」）。

また、既にインターネットは生活や産業など多くの社会活動が依存する社会インフラとなっており、そのサイバー攻撃への対策である「2.4.2 サイバーセキュリティー」は、安心・安全な社会を実現する上で必要不可欠である。

インターネット経済の発展の鍵となるのは「インターネットにおける新しい石油」とも評されるパーソナルデータの活用だが、欧州を中心にプライバシー保護への要求も高まっている。また近年では、フェイクニュースと呼ばれる悪意を持った情報操作が社会問題化している。データ経済の発展には、セキュリティーやプライバシーの保護とデータ利活用を両立する技術が重要である（「2.4.3 データ・コンテンツのセキュリティー」）。

近年、情報システムのセキュリティーに加え重要になってきているのが、情報システムや情報サービスにおける安心や信頼の概念の総称である「2.4.4 トラスト」である。情報技術の活用は社会と密接な関係があり、技術的な信用の担保だけでなく、人間の心理的な要素や、制度による保証などもあわせて、多面的に考慮することが重要になってきている。

（5）コンピューティングアーキテクチャー

この半世紀でコンピューターの連携の広がりは、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。「2.5.1 プロセッサーアーキテクチャー」「2.5.2 量子コンピューティング」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が活発化している。それに加えて、「2.5.3 データセンタースケールコンピューティング」「2.5.4 データ処理基盤」など、クラウドコンピューティングにおけるCPU、記憶装置、通信装置などを適切に配備・運用する技術開発も行われている。

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多数提供され、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サービスプラットフォームの重要度が増している。データの利活用を進め、社会の革新を目指す上では「2.5.5 IoTアーキテクチャー」や「2.5.6 デジタル社会インフラ」などが決定的に重要である。

UBERやAirBnBなど、シェアリングサービスが広まっている。「2.5.7 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、技術トレンドと共に新応用可能性の検討が重要である。