

科学技術・学術審議会 情報委員会
情報科学技術分野における戦略的重要研究開発領域に関する検討会
審議のまとめ（案）

令和 年 月 日
科学技術・学術審議会 情報委員会
情報科学技術分野における戦略的
重要研究開発領域に関する検討会

1. はじめに

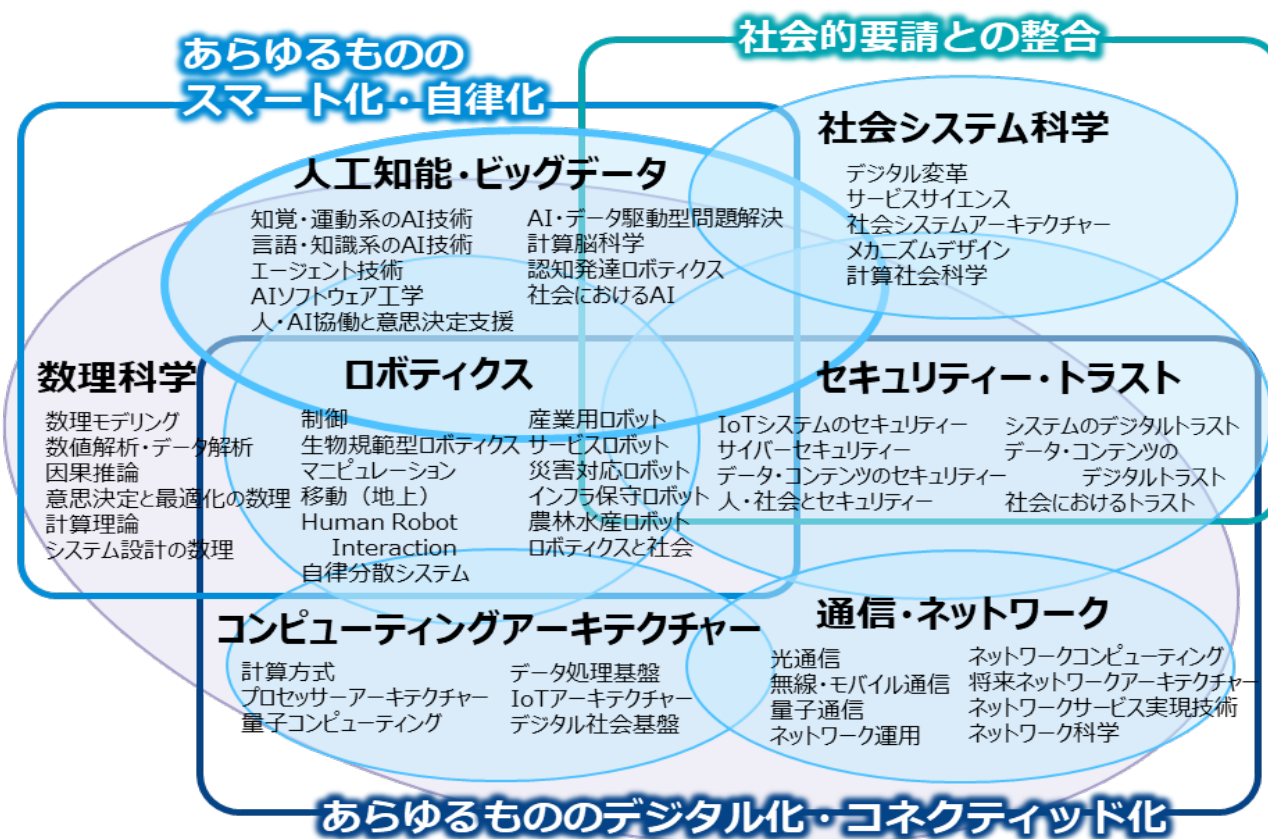
第6期科学技術・イノベーション基本計画（令和3年3月26日閣議決定。以下「基本計画」という。）においては、Society 5.0 を具体化し、実現するために、サイバー空間とフィジカル空間の融合による持続可能で強靱な社会への変革や、価値創造の源泉となる「知」の創造等が必要であることが指摘されている。

サイバー空間とフィジカル空間の融合によって情報科学技術の発展が鍵となることは論を俟たず、また、あらゆる分野で人工知能（AI）技術やデータの活用が進んでいることを鑑みると、情報科学技術の活用は今日の科学研究の発展に大きく寄与するものと考えられる。様々な分野との連携をさらに進めることで、各分野での新たな価値の創造に貢献するとともに、情報科学技術自身も更なる発展を遂げ、その発展がさらにあらゆる分野での研究開発の変革を牽引するという、相乗効果が期待される。

こうした状況を踏まえ、令和6年1月、科学技術・学術審議会 情報委員会の下に「情報科学技術分野における戦略的重要研究開発領域に関する検討会」（以下、「検討会」という。）が設置された。その後、本検討会において、情報科学技術分野において戦略的に重要な研究開発領域の動向やそれを踏まえて国が講ずべき取組等について議論を重ね、以下のとおり取りまとめたので報告する。なお、情報科学技術の急速な技術革新を鑑みると、内容は今後も随時見直すことが適当である。

2. 情報科学技術分野において注目すべき研究動向等について

情報科学技術分野は幅が広く、国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター（CRDS）の『研究開発の俯瞰報告書 システム・情報科学技術分野（2023年）』においては、大きく7区分に分類されている。これらは相互に連携し多様な課題解決に資するものであるとともに、情報科学技術の進展はナノテクノロジーやライフサイエンスなど他分野の発展にも貢献するものである。



（出典：検討会第1回（令和6年4月24日）資料6『重点的に議論すべき領域検討に向けて』，【資料6】重点的に議論すべき領域検討に向けて（CRDS様ご発表）
mext.go.jp）

特に、AI技術は、近年、加速度的に発展しており、社会インフラや産業などにも大きな影響を与え始めている。大規模深層学習に基づく生成AIは、高い汎用性や対話応答性能を有し、さまざまな分野に幅広く波及しているが、資源効率や実世界操作、説明可能性、信頼性・安全性といった観点で課題も挙げられている。

また、データの適切かつ効率的な収集・活用等が科学技術や経済成長の鍵となる中、より効果的なデータの収集・利活用を促進し、さらに広範な分野に AI 技術等が展開することで、新たな価値の創出が期待される。

上記を踏まえ、社会及び経済発展へのインパクトや、新規性、我が国の国際的なプレゼンスへの寄与等の観点から、AI 技術を中心に情報科学技術分野において注目すべき動向について議論を行ったところ、検討会で挙げられた研究動向等については以下のように整理され则认为られる。これらの分類の中には、産学官それぞれにおいて既に積極的な研究開発が進められているものもあり、今後の政策的な資源配分に当たっては、こういった状況も踏まえ費用対効果の高い研究開発分野等を選定していくことが肝要である。なお、これらの分類における研究開発は必ずしもそれぞれのカテゴリー単独で進められるものではなく、融合的な促進も求められる。

a. 生成 AI 等に対して指摘されている様々な技術的課題に関する研究開発

①環境認識、身体性の欠如を埋めるための研究開発

- ・あらゆる環境からデータを発掘する必要のある実世界データを扱うためには、データの能動的取得技術や自律的学習技術、不完全情報からも行動決定が可能となる技術の進展が求められる。
- ・また、AI が置かれている環境を認識するため、コンピュータビジョン、音声音響信号処理、自然言語処理、マルチモーダル情報処理などが必要となる。
- ・認知科学や認知発達の見点からは、身体性・感覚・行為の熟成への理解や、子供の機能・言語獲得過程に基づくアプローチと実世界データの計算論的モデリングや制御理論との融合研究が求められる。

②変化する環境への適応に関する研究開発

- ・実世界においては、タスクや環境が順次変化しており、こうした状況に対応できるモデル構築のためには、例えば、弱教師付き学習をデータセットの時間変化や同時分布の変化に適用させる試みや、少ない仮定のもとシステムを効率よく適応させる学習理論・アルゴリズム等の開発が必要となる。同時に、通信負荷等実世界へ適用する上での課題も考慮し取り組む必要がある。
- ・同時に、リアルワールドのシミュレーション技術が産業競争力へと繋がっていくと考えられ、シミュレーションの高度化（精緻，広域，超高速な物理シミュレーション

ンの実現) や、ドメインや状況に合わせて即座に対応可能な sim2real 技術¹の開発が求められている。

③メカニズムを理論的に解明し現実近づけるための研究開発

- ・基盤モデルの振舞いやメカニズムは解明されておらず、基盤モデルの内部構造を実験的又は数学的観点等から理論的に理解する取組は重要である。その際、理論と現実との乖離を埋めるような融合研究のアプローチも求められる。

④資源効率向上・環境負荷軽減に関する研究開発

- ・計算量の増大に伴う消費電力の増加や環境負荷の増大に対応する研究開発が必要とされており、Transformer²に代わるアーキテクチャとして、例えば、計算効率化のための Attention³の代替機構に関する技術や、経済効率改善のための量子化やモデル軽量化技術、少数データで効果的に適応させる技術などが挙げられる。
- ・また、脳の効率的なエネルギー代謝等の知見を AI 開発へ活用することで消費電力や環境負荷の軽減に対応可能な AI が期待される。

⑤学習精度の向上に向けた研究開発

- ・学習精度向上のための取組としては、グラフニューラルネットワーク⁴やハイパーグラフ⁵の拡張、オートエンコーダ⁶、拡散モデル⁷、対照学習⁸、確率的モデル⁹、自己回帰に代わる学習目標の設定に関する技術開発などが求められている。
- ・基盤モデル構築後の外部変化に対応させるためには、モデル拡張やシステム更新等の仕組みが必要となり、例えば、個別対応する機能を外付け実装する技術などが求められている。

b. 社会の中に混在・共生する、様々な機能を持った AI の管理・連携

¹ シミュレーション等で学習したモデルを現実世界に用いる強化学習手法

² 2017 年に米国 Google 社が発表した深層学習モデル

³ データの中から、予測に役立つ箇所を重みづけする方法

⁴ グラフデータに深層学習の仕組みを取り入れたニューラルネットワーク

⁵ 数学におけるグラフを一般化(拡張)したもので、エッジが任意個数のノードを連結可能

⁶ 次元削減や特徴抽出を目的とした教師なし機械学習手法

⁷ データの拡散過程を学習したモデル

⁸ ラベル付けを行うことなく、データ同士を比較する仕組みを用いて、膨大なデータをそのまま学習できる自己教師あり学習手法

⁹ 不確かさやランダム性を扱うために、確率的な過程を数学的にモデル化したもの

① モデルの統合と循環進化を実現する研究開発

- ・企業等が保有するデータ等を安全かつ効率的に活用するためには、性質の異なる小さなモデルを統合することで性能の高いモデルを構築するヘテロジーニクスな分散学習技術や、複数のドメインデータをパフォーマンスを保持したまま融合させるドメイン融合技術等が重要である。
- ・また、エッジ側のモデルの差分を上位モデルに集約して全体最適化・進化を繰り返す循環学習技術の開発や、循環学習に伴う品質保証・向上に関する技術（学習履歴追跡や継続学習等）などが必要となる。
- ・加えて、個別化された多数の AI とユーザ同士が相互作用しながら時間発展する社会が全体で最適化をもたらすためには、多数の AI システムの協調に基づく機械学習の理論体系を構築するとともに、安全性や公平な意思決定等が保証できるような研究開発が必要である。

②意味を理解し、人間との協働が可能な AI

- ・多数の AI やロボット・人間が協働する社会を見据え、アライメント¹⁰等の観点からも人間のパートナーとして望ましい AI を検討するとともに、価値観や世界観を人と共有し共進化する AI 技術を実現することが重要である。
- ・例えば、現在の大規模言語モデル（LLM）においては、文脈や倫理観の理解が困難であること等の課題が挙げられており、意味を理解・推論する技術や、一般現象に汎化する技術、世界の知識の表現や実世界からの取り込み方法など、知識背景を理解し活用する技術が求められる。
- ・また、言語創発に基づき集団的に行われる予測符号化¹¹が、世界の理解・予測・協調を構築するという新たなシステム論が提唱されており、二重過程モデル¹²のシステム 1（即応的知能）、システム 2（熟考的知能）の上位概念に、システム 3（社会的/集合的知能）を仮定する取組が進められている。

¹⁰ AI システムを人間の意図する目的や嗜好、倫理原則等に合致させるための取組

¹¹ 人間の脳が感覚情報と予測地の誤差を最小化するように情報処理、学習する仕組み

¹² 人間にはシステム 1（即応的知能）とシステム 2（熟考的知能）の 2 つの情報処理様式があると仮定したモデル

c. 様々な研究開発分野を変革するための AI 技術

①AI for Science

- ・人間とのディスカッションや実験作業から得られたデータを学習データとして取り込めるような科学用基盤モデルや、論文・グラフ等の分析や情報の選別・整理によって研究者をサポートする AI の開発、AI による仮説空間の探索精度・効率の向上及び研究サイクルの精緻化・柔軟化に関する取組が求められている。
- ・また、現状の AI においては、専門性の高い領域や新たな知識の獲得を可能とする汎用性、外挿性、信頼性、論理性に関する課題があり、これらを解決する技術開発が求められる。あわせて、AI が保有する知識を AI 自身と人間が理解することは難しく、AI の立てた仮説を人間が理解できるような検証方法が必要である。

②AI×ロボティクス

- ・日本はロボットの生産/利用にかかる経験値が高く、ロボットの知能等の研究に参入しやすいことが挙げられ、より大量のマルチモーダルデータを学習したロボット基盤モデルの構築や、行動計画・動作生成を柔軟かつ堅牢に行うための技術が期待される。
- ・身体自由度や、言葉にできない動作イメージなどの情報について、何のデータをどのように集めるかが課題であり、模倣学習¹³のみならず、人の発達過程を取り込むなど、何を学習すれば次の学習がしやすいかの理解に向けた工夫が必要となる。

③AI×通信

- ・経済活動や国民生活を支える基盤としての通信は、人口減少や設備の老朽化、要求条件の変化等により、未来の通信インフラの内容/質/量を見直すべきタイミングにきている。現場に密着した通信インフラ・通信技術の維持といった課題に対し、通信技術の高度化により、通信遅延や端末・場所等の制約が減ることで、端末／エッジ／クラウドでの機能分担を再考する必要がある。
- ・例えば、エッジ側の膨大な計算資源を分散コンピューティングや電波伝搬のデジタルツイン¹⁴などに活用する取組や、XG¹⁵ for AI としての新たなアーキテクチャや要求条件の見直しが必要である。

¹³ 人がロボットを操作した情報からロボットの動作を自動化する手法

¹⁴ 現実の世界から収集したデータをコンピュータ上で再現する取組

¹⁵ 世代によらない情報通信技術

- ・また、国内外ベンダーによる、基地局設備を含む無線アクセスネットワークをオープン仕様とした Open RAN（Open Radio Access Network）の取組も加速しており、AI を活用したネットワーク設計・運用の最適化等の研究開発が求められる。

④AI×半導体

- ・半導体研究の競争力を高める AI の開発が求められている。現在、プログラミングは生成 AI によって生産性が劇的に改善しており、今後は、半導体の素材開発や自動設計、シミュレーション技術への AI の活用が期待される。
- ・ハードウェア構成やアーキテクチャを意識した AI アルゴリズムの研究や、特定のアプリケーション、エッジ処理を意識したチップデザインの設計など、分野融合領域の研究も重要である。

⑤その他

- ・大規模基盤モデルの開発を支える周辺技術（データサイエンス、データベース、高性能計算、半導体、高速ネットワーク等）にも投資するタイミングである。
- ・大規模基盤モデルの使われ方は多様であり、ユーザ用途を考慮しニッチな領域を探索することも大切と考えられる。

3. 情報科学技術分野において戦略的に重要な研究開発領域等について

情報科学技術分野は、わが国が提唱する Society 5.0 を実現するための鍵となる重要な技術であり、長期的視野を持って、その実現のために必要な研究開発を基礎研究から進める必要がある。特に、AI 技術は、安全性や資源効率などの課題を包含しつつも、近年、加速度的に発展・幅広い分野に波及しており、数ある情報科学技術分野の中でも我が国として戦略的に研究開発に取り組むべき重要な分野である。

研究を進めるにあたっては、日本発の領域や日本が伝統的に強みを有する領域を進化・融合した形で実施することが、国際的なプレゼンス確保につなげていくためにも重要である。また、大規模基盤モデルを活用した取組だけでなく、小規模で利便性の高い AI 等を誰もが活用できる環境の整備も今後進むことが期待されている。

上記を踏まえ、戦略的に取り組むべき重要な研究開発領域等として、本検討会では、以下のとおり提言する。

<変化する実世界環境に効率よく適応するための研究開発>

大規模基盤モデルに基づく生成 AI は、高い汎用性や応答性を有し、さまざまな分野に幅広く波及している一方で、実世界への対応には課題があるとされていることから、変化する実世界に対応できるような AI 技術の実現は、世界的にも注目されている。

また、理論的な研究と実践的な研究の乖離が指摘されており、両面アプローチするとともに、双方を融合して研究を推進していくことが重要である。

例えば、実世界では、タスクや環境が順次変化しており、変化する環境に効率よく適応できるモデル構築技術や、それを可能とする周辺技術の研究開発が必要である。特に、限られた情報から AI が答えを導き出す必要があるため、AI 自身が能動的・自律的に学習するデータを選別・取得する技術や、不完全な情報からも効率よく学習する技術が重要であるほか、身体性や人の認知発達を考慮したアプローチも重要である。

<多様な AI と人が共生・協働する社会に向けた研究開発>

多様な AI が、人や AI と相互作用する社会が到来することを見据え、AI が人と共生・協働する社会に向けた研究開発が必要である。

例えば、個々の AI 間のインタラクションにおいて導出される答えが全体として最適化されるためには、説明可能性や公平な意思決定を担保するような学習技術、学習履歴の追跡や継続学習における品質保証技術などの研究開発が重要である。

また、人と AI の関係においては、インタラクションを通じて人・AI とともに成長したり、価値観や世界観を共有し人のパートナーとなったりするような AI など、人と協働できる AI の実現に向け、文字列ではなく意味を理解し推論する新しい推論機構の研究や、AI アライメントなどの研究開発が重要である。

また、上記研究開発を進めるに当たっては、AI 関連リスクへの対応や研究開発環境・研究人材の確保など AI を支える周辺環境にも配慮する必要がある。

<AI リスクへの対応>

ハルシネーション¹⁶や AI を用いた悪用のリスクが深刻化する中、説明性・可制御性とのバランスが取れた性能向上が求められている。説明性・可制御性の欠如に対するアプローチとして、モデルの可視化（モデルの特徴を抽出しその分散表現を言語化すること）等が

¹⁶ AI が事実に基づかない情報を生成する現象

考えられる。説明性の欠如により動作パターンを想定した品質管理やオーナーによるリスク回避が難しくなっており、開発時から利用時まで含めた総合的な取組が必要となっている。

人が理解できる形で生成 AI を適切にチューニングする方法や、生成 AI を既存のウェブ情報や文献データベースと協調動作させる技術も今後の重要課題と思われる。

他方、説明性とは別に社会受容性の問題もあり、人の心理・行動等を考慮した評価・対策が求められている。

<研究開発環境・人材育成>

基礎研究は幅広く支援し、トライアンドエラーを繰り返しながら研究をステップアップすることが期待される。米国には技術のマネタイズ等を進めるための組織があるように、社会実装を視野に企業等と連携した取組を、研究と並行して進めることが望ましい。

AI 分野における先端的な研究人材を質・量の両面で充実させるための取組を、JST「国家戦略分野の若手研究者および博士後期課程学生の育成事業（BOOST）次世代 AI 人材育成プログラム」等と連携して進めるべきである。また、国際的に活躍する研究者を含む優れた研究環境の存在は、海外研究人材の呼び込みに有効と考えられるため、集中投資も必要に応じて検討すべきである。

あわせて、日本の高校生・大学生ではプログラミング競技の人口が増えており、正解のある問題を素早く解く能力では国際的にも上位の競争力があるが、そのような若手人材を、正解が決まっていない問題や、新原理を発見するような仕事ができる高度人材に育てるための仕組みを強化すべきである。