



別紙 2

人工知能（AI）技術分野における 大局的な研究開発のアクションプラン （AI アクションプラン）

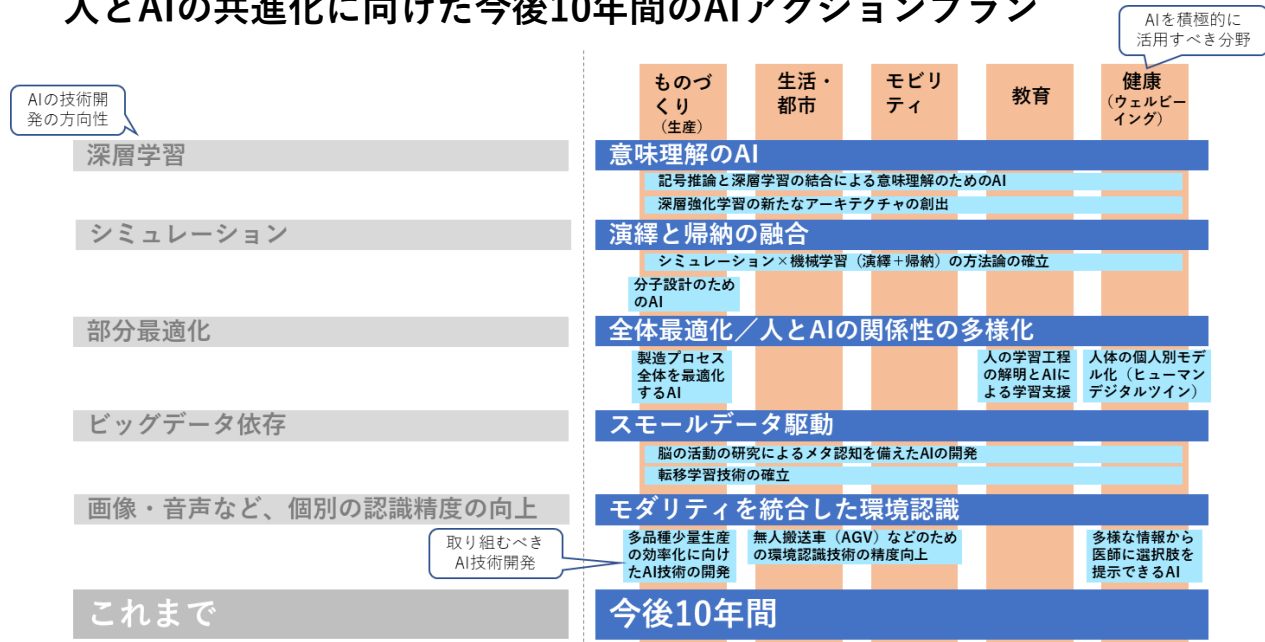
2021年6月14日

目次

目次.....	2
1. エグゼクティブサマリー	3
2. AIアクションプラン策定に向けた調査の概要.....	4
3. AIアクションプラン	6
記号推論と深層学習の結合による意味理解のためのAI	7
深層強化学習の新たなアーキテクチャの創出	8
シミュレーション×機械学習（演繹+帰納）の方法論の確立.....	9
脳の活動の研究によるメタ認知を備えたAIの開発.....	10
転移学習技術の確立	11
製造プロセス全体を最適化するAI	12
多品種少量生産の効率化に向けたAI技術の開発	13
分子設計のためのAI	14
無人搬送車(AGV)などのための環境認識技術の精度向上.....	15
人の学習工程の解明とAIによる学習支援	16
多様な情報から医師に選択肢を提示できるAI	17
人体の個人別モデル化（ヒューマンデジタルツイン）	18
今後議論を深めていくべき課題	19
用語集.....	21

1. エグゼクティブサマリー

人とAIの共進化に向けた今後10年間のAIアクションプラン



- NEDO (国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構) は、新たなAI技術戦略の策定およびプロジェクトの早期開始に向けて、日本がAI分野で世界をリードしていくためのアクションが必要であると考え、AI技術やAIに密接に関係する技術、さらにAIを含む新技術に関する開発の方向性などを大局的に検討・整理した「人工知能 (AI) 技術分野における大局的な研究開発のアクションプラン」(以下、AIアクションプラン) を策定・公表した。
- AI技術は深層学習の隆盛によって大きく発展した。これ自体は変わらず重要であり、一層の発展が期待されるが、今後はより高度な意味理解のAIの開発が求められる。同様に、これまでの部分最適化ではない全体最適化、あるいは個人への最適化にとどまらない人とAIの関係性の多様化も求められている。
- AIアクションプランでは、それらAIの技術開発の方向性 (上の図の灰色と青色の部分) を踏まえつつ、ものづくり (生産) やモビリティといった5つの分野 (同 オレンジ色の部分) への実装を見据えて、今後10年の人とAIの共進化に向けた、取り組むべきAI技術開発として12の項目 (上の図の水色の部分) を抽出した。

2. AIアクションプラン策定に向けた調査の概要

我が国の社会課題の解決に資する人工知能技術開発の方向性を提起

政府は2017年に「人工知能技術戦略及びその産業化ロードマップ」で、AIの研究開発から実装まで、取り組むべき重点分野を取りまとめて以降、2019年の「AI戦略2019」では実行すべき施策を示し、また科学技術・イノベーション基本計画や統合イノベーション戦略でもAIについて多数言及しており、AIの研究・実装を積極的に推進している。自動運転や企業におけるDX（デジタルトランスフォーメーション）に関わる分野などにおいては、すでにAIの実装が進んでおり、デジタル庁の創設で、それらの動きは加速されるだろう。

その一方で、海外では、アメリカは2026年までに320億ドル（約3兆5,000億円）を各分野のAI技術開発に投じ、中国も最新の5カ年計画に向けて新世代のAI開発を標榜。GAF（Google、Amazon、Facebook、Apple）は画像認識や自然言語処理などに持てる膨大なデータと巨費を投じており、各国政府や巨大企業もこれまで以上にAIに注力している。加えて、中国はAI関連技術に輸出制限を課し、EUはAIの利用についての包括的な規制案を発表するなど、規制・管理面の取り組みも活発化している。

そこでNEDOは、新たなAI技術戦略の策定およびプロジェクトの早期開始に向けて、日本がAI分野で世界をリードしていくためのアクションが必要であると考え、AI技術やAIに密接に関係する技術、さらにAIを含む新技術に関する開発の方向性などを大局的に検討・整理した「人工知能（AI）技術分野における大局的な研究開発のアクションプラン」（以下、AIアクションプラン）を策定・公表した。

委員会での議論を重ねて、AIアクションプランを策定

AIアクションプラン策定委員会（委員会）では、「次世代人工知能技術社会実装ビジョン」、「人工知能技術戦略」、「科学技術・イノベーション基本計画」や文部科学省による「国・機関が実施している科学技術による将来予測に関する調査」をはじめとする各省庁の将来予測調査から、20の分野における、将来期待される社会像とそれにむけた取り組み、またAI技術の関わりを整理し、議論を行った。

各分野における取り組みについて、委員会では今後10年程度の期間を見据えて、我が国における社会的意義や経済的なインパクトを加味して分野・取り組みを絞り込んだ。またすでに民間企業が十分な実績を上げていたり、基礎研究としてさらなる時間を要したりするものではなく、社会実装に向けた施策が必要な課題を重視し、その詳細を検討する議論を重ねて、AIアクションプランを策定した。

AIアクションプラン策定委員会・委員などの一覧

委員長： 中島 秀之	公立大学法人札幌市立大学 学長
委員： 稲見 昌彦	国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター 教授
牛久 祥孝	株式会社Ridge-i 取締役 Chief Research Officer
	オムロンサイニックエックス株式会社 Principal Investigator
川上 登福	株式会社経営共創基盤 共同経営者（パートナー） マネージングディレクター
松尾 豊	国立大学法人東京大学 教授
丸山 宏	花王株式会社 エグゼクティブ・フェロー
	国立大学法人東京大学 人工物工学研究センター特任教授
	株式会社Preferred Networks PFNフェロー
村川 正宏	国立研究開発法人産業技術総合研究所 情報・人間工学領域
	人工知能研究センター 副研究センター長
	（兼務）人工知能研究戦略部研究企画室長

（委員は五十音順、敬称略）

事務局：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO） ロボット・AI部
株式会社角川アスキー総合研究所

委員会開催日程

第1回：2021年2月9日 第2回：同年2月26日 第3回：同年3月30日
第4回：同年4月27日 第5回：同年5月18日 第6回：同年6月1日

（上記委員会以外にも各委員との個別会合を複数回実施、感染予防対策のため会合はすべてオンライン開催）

3. AIアクションプラン

AIアクションプランとして、12の取り組むべきAI技術開発を抽出

以下のAIアクションプランでは、農業などの第一次産業も含めた「ものづくり（生産）」、「生活・都市」、「モビリティ」、「教育」、「健康（ウェルビーイング）」といったAIを積極的に活用すべき分野（複数の分野に共通する課題も含む）における、12の「取り組むべきAI技術開発」と、その社会実装例としての「期待される社会像」、「社会像に向けた取り組み」を解説する。

委員からも、AIアクションプラン策定後、これらがどのように実行されていくかが最も重要という指摘があったように、NEDOでは、AIアクションプランで抽出されたAI技術開発を中心に、他の分野への展開も含めて、今後取り組むべき事業を検討していく。今後のプロジェクト化や実装においては、多様な分野への発展が期待できる。

期待される社会像

社会実装例

人間とAIが、言語でより高度なコミュニケーションを取れる

AIによる環境認識（身体性を含む）と言語理解の向上によって、より高度で自然なコミュニケーションがとれるようになる。

社会像に向けた取り組み

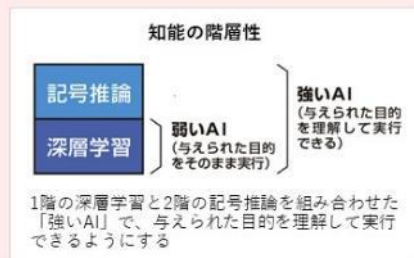
日本の強みを活かしたAI技術の開発

ロボット技術や、人工知能を目指した第五世代コンピュータ（1982年～1992年）プロジェクトの記号推論に関する技術蓄積を活用するなど、他国とは異なるアプローチで、我が国の強みを活かしたAI技術を創出する。

取り組むべきAI技術開発

意味理解のためのAI（2階建て脳）

1階部分の深層学習と2階部分の記号推論システムの結合。あるいは従来型システムで、深層ニューラルネットワーク（DNN：Deep Neural Network）上に記号推論システムを実現。記号処理で人間の意図や価値を理解して、深層学習を方向付ける手法を開発する。



自然言語処理は日本でも研究は盛んであり、以前から戦略的に重要だとされていたが、Googleの優れた日本語翻訳や、深層学習による大規模言語モデル、また言語間の転移を可能にする技術の登場によって「日本語が日本のものではなくなる」可能性すらある状況となっている。継続的に研究開発を続けるべき分野であり、現在の技術を超える大きなブレークスルーとして「意味理解のAI」が議論となった。

もともと「2階建て脳」として委員会で話されていたが、ディープラーニングの研究分野ではダニエル・カーネマンによる「System1」「System2」という形で議論されている。人間の脳の思考が、直感的で処理が速いSystem1と、意識的・論理的で処理の遅いSystem2の、2つに分けられるという考え方だ。

意味理解のAIを実現するためには、現在のディープラーニングが得意なSystem1と、従来からのAIで記号推論として研究されてきたSystem2をつながなければならない。その方法としては「深層強化学習の新たなアーキテクチャの創出」や、「脳の活動の研究によるメタ認知を備えたAIの開発」も該当すると言える。記号推論と深層学習を組み合わせることができれば、意味を理解できるAIの実現につながる。また、幅広い目的に用いることのできる汎用AI（AGI）、あるいは心の活動をもつような「強いAI」につながる技術に発展していく可能性がある。

期待される社会像

社会実装例

既存のAIが抱える課題を解決して社会の利便性を向上

新たなAIアーキテクチャによって自然言語処理を高精度化することで、名前を置き換えたり、辞書を引いて回答するといったような、既存のAIが不得意な言語処理が可能になるなど、さまざまな利便性を向上させる。

社会像に向けた取り組み

画像あるいは世界モデルを生成し、それに基づいて答えを出すAIの開発

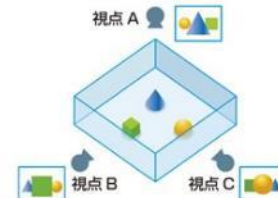
言語から画像あるいは実世界に紐づく世界モデルを生成し、それに基づいて答えを出力するAI技術の開発。

取り組むべきAI技術開発

時間方向に広がりをもった時空間の情報に関して適切な特徴量を抽出する深層強化学習

時空間の特徴量を自己教師あり学習で適切に取得することができ、フィードバックループを仮定した行動の学習ができる深層強化学習を開発する。

世界モデルで他視点の画像の予測が可能



画像認識の例として、図の視点A、Bからの画像を多数学習して「世界モデル」を獲得すると、視点Cからの見え方を予測できる

ここ数年のAI技術に関する進歩は、そのほとんどがディープラーニングの進化と同義とも言える。しかしAIのこれからを考察していくにあたっては、既存のAI技術が抱えている課題と向き合い、知能そのものの解明へと学術研究を進めていくことが必要となる。

その中で将来のAI技術開発に大きなインパクトを与える領域として、現在大きな成果を上げている大規模言語モデルではうまく処理できていない課題、AIで名前を置き換えたり、辞書を引いて回答したりといった課題を解決すること、いわゆる「シンボルグラウンディング問題」に関わる部分が議論された。これは意味理解のためのAIにも関連する。

そういった課題を本質的に解決するためには、AIが言語の指す概念を獲得している必要がある。画像や映像における高次の特徴を獲得する技術は大きく進展したが、より複雑な特徴、すなわちセンサとアクチュエータを複合した時空間的な特徴を獲得する技術は未成熟である。これは身体性として知られている概念とも関連する。

実世界における時間方向に広がりをもった特徴量を、自己教師あり学習で適切に抽出することができれば、深層強化学習などの技術に大きな進展がある可能性がある。そのためには、環境との相互作用において不可欠である、フィードバックループを自然に仮定した行動の学習ができる技術も重要である。こうした技術が、意味理解のAIの開発にも結びつき、同時にロボットなどへの応用にもインパクトを与える、今後の有効なAI技術開発として提起された。

期待される社会像

社会実装例

効率的なシミュレーションによる材料探索・創薬、自動運転などの推進
 機械学習を組み合わせたシミュレーションの分野・手法を整理・開発して多分野に展開し、上記分野などの技術開発を加速する。

社会像に向けた取り組み

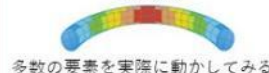
分野と方法論の組み合わせを整理し、他分野への適用を図る

人間の知識に基づく演繹（前向き推論）と、データに基づく帰納（後ろ向き推論）を組み合わせ、双方のメリットを持つ予測・推論手法を開発。気象予測におけるデータ同化など、現状はいくつかの分野において個別に試みられているシミュレータ×機械学習の手法を整理し、総合的に開発。まだ着手されていない分野・手法を同定し、開発した手法をそこに適用していく。

様々なシミュレーション手法



有限要素法



多数の要素を実際に動かしてみるマルチエージェント、メッシュに分解して個々の状態を見る有限要素法など、様々な手法がある

取り組むべきAI技術開発

演繹と帰納、双方向の推論による手法を開発

演繹的手法としては、シミュレータを用いて機械学習の訓練データを生成。データが得られにくい事象をカバー。帰納的手法としては、機械学習を用いてシミュレータのパラメータを調整（データ同化）、高速化する。

AIによるシミュレーション技術の効率向上については、委員会の初期から、多分野にまたがる課題としてその重要性が議論されてきた。

現状は各分野において、例えば個々のエージェントの動きをシミュレートしつつ、それが膨大な数となった場合にどういった挙動になるのかを推測する「マルチエージェント」、あるいは空間をメッシュ（網の目）に分割して、それぞれの時間軸の変化をみていく「有限要素法」など、さまざまな手法のシミュレーション技術の開発が行われている。

そういったある分野における特定の手法のシミュレータが、必ずしも他分野でそのまま活用できるわけではないものの、

- ・核となるシミュレーション×AI技術の開発
- ・AIによるシミュレーションが活用されていない分野の同定と、その分野への展開の重要性が提案された。

また、シミュレーションの速度・精度について、AIの活用でシミュレーションの速度は圧倒的に速くなるが、それでも計算機の性能によっては時間がかかる場合は、近似値でも結果を出力できる手法・技術の開発の重要性も議論となった。

いずれにしても、現状はまずどういった分野で、どういう手法のシミュレータが活用されているのかを調査し、その全体像を把握することが重要とされた。

期待される社会像

社会実装例

熟練工や伝統的な匠の職人技を、AIによって他者に短時間で学習させることによるものづくりの継承

継承が困難なスキルを、AIを介して短期間で学習することで次代に残す。

社会像に向けた取り組み

熟達者の脳の活動パターンやスキルに関わる神経活動を効率的に学習できるAIの開発

熟達者の脳の活動パターンを、AIで効率的に学習。学ぶ初心者の神経活動を熟達者のそれを再現するよう同調させることで、より短時間での習熟につなげる。

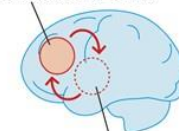
取り組むべきAI技術開発

メタ認知機能による少数サンプルでの学習

人間の脳では大脳基底核が強化学習を、背外側前頭前野がメタ認知を司っており、そのメタ認知によって複雑な問題を単純化して効率的な学習を行っている。この構造に習い、メタ認知機能を備えて少数サンプルでの効率的な学習が可能なAIアーキテクチャを開発する。

脳の活動を模したAI技術の開発

背外側前頭前野（メタ認知）



大脳基底核（強化学習）

脳は背外側前頭前野（メタ認知）と大脳基底核（強化学習）のやり取りで効率的に学習しており、これを模したAIで少数サンプルでの学習を可能にする

委員会において繰り返し議論が行われた点として、GAF A (Google、Amazon、Facebook、Apple)などの巨大プラットフォーム企業、中国におけるAI研究の飛躍を踏まえ、日本がその強みを活かせるAI開発分野がどこにあるのかという話題がある。

その上で、日本がこれから他国に対して競争力を発揮できる注力分野を提示するにあたっては、人間の脳の活動を参考とした新しいAIの開発が提起された。そして、人間の脳を模した「メタ認知（自分自身の能力や認知過程を、客観的に見る能力）」をAIへつなげることで、多次元の複雑な問題を大幅に圧縮し、大量のデータによる学習を前提とする現在のAI技術とは異なる、少数のサンプルでも効率的に学習できるAIの研究について、注力すべき価値があることが議論された。

委員会においてはその技術研究分野において、人間がある動作やスキルを習得する工程を脳活動パターンの動きや変化から解明し、人間が複雑な問題を短時間に・少数の試行回数で学習できる機能や理論をアルゴリズムに変換しAIへ応用させることで熟達スキルの継承や獲得につなげるというアプローチが、産業面においても大きな貢献を成し得る可能性が考えられることが提起された。

現状では、脳が情報次元を圧縮する活動についての研究がされているが、今後は脳が意識をプライア（事前知識）として学習する機能そのものを解明した上でアルゴリズムを開発するなど、意味理解のAIにもつながる技術の開発が期待される。

期待される社会像

新たな材料開発によるカーボンニュートラルへの貢献

AIによる材料探索によって、低コスト高効率な新たな材料を開発し、クリーンエネルギーの普及を図る。

社会実装例

社会像に向けた取り組み

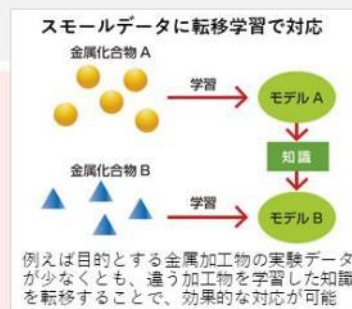
より高効率な太陽光発電やバッテリーなどの開発に向けたAIによる材料探索技術の開発

有機化学やバイオの材料開発の手法ではうまくいかない重い原子を扱える、相対論的な効果も踏まえたAIによる材料探索技術の開発。

取り組むべきAI技術開発

スモールデータを的確に扱える転移学習技術

少ない試行回数しか得られない実験データ、あるいは人口の少ない地域の風習など、スモールデータからの学習に際して、類似する他のデータの学習で得られた知識を転用することで、精度良く学習できる転移学習技術を開発する。



脱炭素社会や持続可能な社会の実現という観点において、委員会における議論や有識者へのヒアリングを進める中、高効率な発電を実現するための材料開発におけるAI技術の確立が、それらに貢献できる可能性を持つという提案がなされた。

環境に優しい発電材料の開発など、これらの材料開発は持続可能性に直結する。なかでも、金属などの重い原子では、有機化学やバイオとは異なる手法での材料探索技術が求められており、さらには多くの実験データを得ることが困難な領域であるため、少数のサンプル、スモールデータでの効率的な学習が望まれる。

このため、他の類似する物質に関する学習により得られた知識を活用することで、ターゲットとなる物質について、少数のデータであっても高精度な学習を可能とする「転移学習」の手法の確立について、議論がなされた。

転移学習については、文化的な多様性を持つAIという観点でも議論がなされた。例えば地域ごとの食文化や風習を、限られたサンプルからの確に学習することを考えると、同様に転移学習が有効な手法となる。文化については、全体最適ではなくそれぞれの多様性の尊重が求められるため、個別に最適化していくにあたってのスモールデータの転移学習は、今後重要となることが提起された。

期待される社会像

社会実装例

AIを活用したプロセス最適化による産業競争力の向上

材料・設計探索から製造プロセス全体をデータ駆動型として最適化。製品開発の効率化と産業競争力向上を図る。

社会像に向けた取り組み

無機化学の領域で活用できる共通基盤としてのAI技術開発

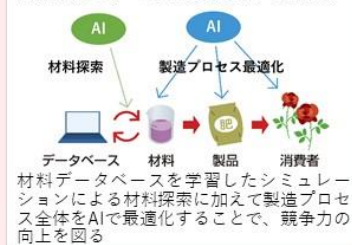
有機化学や創薬ではAIはすでにかなり活用されているが、無機化学などでも同様に材料探索に活用できるAIを開発。材料探索の際、最終製品を踏まえた評価が必要となるため、材料探索だけでなくプロセス全体をAIによって最適化する。

取り組むべきAI技術開発

材料探索に加えて製造プロセス全体を最適化するAI

材料探索へのAI活用に加えて、需要の変化が生産、ひいては設計や材料探索に反映されるまでのリードタイムを最小化するとともに、プロセス全体をコスト・品質・環境負荷・レジリエンス（復元力）など、多目的に最適化するAI共通基盤を開発する。

材料探索とプロセス全体をAIで最適化



「ものづくり」という表現の定義が非常に広いという前提は持ちながらも、「未だにデジタル化やAI導入が遅れているのが日本のものづくりが持っている課題」という共通の意識の基で様々な議論がなされた。そのなかで、有機化学・無機化学、創薬、バイオなどそれぞれの分野において研究や開発のプロセス最適化を進めるためのAI技術開発は盛んに実施されるべきであり、日本の産業競争力向上に重要であるという提案があった。

とりわけ無機化学におけるAI導入について、材料探索・開発の高効率化と、そこから製品の複雑で多岐に渡る開発・製造プロセス全体を自律的に最適化できるようなAI開発が、産業力向上へ大きな貢献をもたらすという提起がなされた。

さらには、無機化学に限定せず、プロセス全体のAIによる自律的な最適化は、第一次産業も含めたものづくり全般に有効な技術となる可能性が議論された。現状では材料探索面がAI活用の主眼だが、今後プロセス全体の最適化を目指すにあたっては、人間（ここでは消費者）の主観的な認知や物事への感じ方などをモデル化しておく必要が考えられるといった、付随する技術開発についても議論が交わされた。

期待される社会像

機械化・AI化されていない生産現場へのAI導入による生産性向上

高速・高信頼なロボットによる大規模で効率的なライン生産の維持・発展と並行して、人手によるセル生産が主体の多品種少量生産においても、AI・ロボットの導入によって生産性を向上させる。

社会実装例

社会像に向けた取り組み

AI・ロボットによるデータ駆動型の生産工程の確立

画像データを蓄積していくことで作業工程のミス減らし、歩留まりの向上を図る、またデータに基づいて故障する部品を予測するといった、データ駆動型の生産工程手法の確立。

取り組むべきAI技術開発

複数のモダリティを統合した環境認識による多品種少量生産工程のチェック

組み立て手順の確認や検品に際して、画像だけでなく音波などの多様なモダリティを統合して認識し、生産工程を適切にチェックできるAI技術を開発する。

セル生産においてもAIで生産性向上

補助ロボット

画像認識AI



多品種少量生産に適した工程チェックや検品用の画像認識ほかの環境認識技術、多様な生産物に対応可能なロボットを制御するAI技術の開発で、セル生産も省力化できる

委員の間において「データ駆動型のものづくりの力を推進し、日本の製造業における産業力を向上させる」という目標が共有された上で、具体的な取り組みとしてAI技術やそのために必要な学習データ取得の導入を取り組むべき分野として、多品種少量生産のものづくり工程が議論された。

現状、製造現場における実情として「100%の精度を担保できないAI技術は活用しづらい」という声が、有識者のヒアリングなどから挙げられていた。このため、AI導入が重要であると認識されながらも、実際には導入を進めづらいという状況がある。

こうした状況下でデータ駆動型の製造・生産、AI導入を取り組んでいくには、従事者の手が行き届きやすい生産方式から着手していくことが有効だとして、まずは多品種少量生産に向けたセル生産方式において、例えば人間の目による異常検知などとAIによるそれを併用しながら学習データの蓄積を進め、精度向上を進めることでデータ駆動型の生産方式の推進を図ることが有効だと提起された。

これに際して、多品種少量生産の現場で使いやすいAI技術として、組み込む前の部品の検査や正しい手順で製造されているかの確認などに活用できる画像・動画認識が有望という議論がなされた。さらに、例えば検品に際しては音波を使う、あるいは温度や振動の負荷をかけるテストなど、画像に限らない多様なモダリティを統合できると、より有効なAIの活用が可能となることから、マルチモーダルなAIの開発が議論された。

期待される社会像

社会実装例

新たな感染症に対応できるバイオ医薬品の迅速な開発プラットフォーム

生体分子設計などの分野において、開発プラットフォームの整備によって新規の感染症に対するワクチンやバイオ医薬品開発の迅速化。

社会像に向けた取り組み

多ノイズでデータが少ないなど、機械学習や高精度なシミュレーションが難しい分野での開発基盤整備

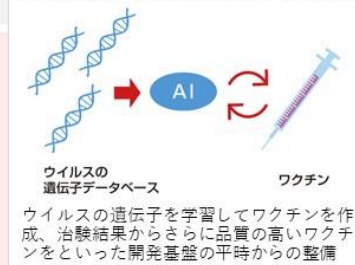
ノイズが多い場合の機械学習手法や、量子計算シミュレーションが活用できない場合のシミュレーション技術の開発。

取り組むべきAI技術開発

分子などの設計のためのAI

生体分子を扱う領域の設計に際しては、現状は分子構造を「Transformer」などの大規模言語モデルを活用して、文字列として扱っている。分子構造自体を扱えるなど、データ駆動型の研究開発の基盤となるAI技術を開発する。

ウイルス遺伝子を学習してワクチン開発



パンデミックという今、人類が共通して抱えている社会課題について、AI技術がどのように応えていくかという点については、委員会の初期の段階から議論として取り上げられた。今後我々が未知の感染症とどのように対峙していくか、日本がいち早く治療薬（抗体医薬）を開発できるかどうかという議論の中で、バイオ医薬品開発に求められるAI技術の研究について提案がなされた。

創薬分野におけるAI活用は進んでいるが、バイオ医薬品開発における実用的なAI導入はまだ大きくは進んでおらず、AIを用いた開発手法の確立や開発体制の実現が、新興感染症に遅れを取らない日本という次なる目標を達成するには重要であることが議論された。

具体的にはバイオ分野のデータ特有の問題として挙げられる、ノイズの多さやデータ数の少なさに起因し、高精度なシミュレーションが実施できないという点へ、機械学習の技術を組み合わせて対策していくための手法確立が研究対象として挙げられた。現状、生体分子を文字列として扱い、高精度な機械学習モデルとして知られる「Transformer」をベースにしたAI導入が研究レベルで盛んに行われているが、その上でバイオ分野の開発に特化したAI技術の開発やプラットフォーム化などの議論がなされた。

さらには、バイオに限定せず、インフォマティクス化したものづくりに汎用的な貢献ができるAIの開発も重要であるとされた。

期待される社会像

社会実装例

宅配、拠点内の物流の自動化

物流拠点から配送先への荷物の配送、あるいは商業施設や病院といった建物内の物資の輸送を自動化。

社会像に向けた取り組み

自律駆動する配送ロボットなど、AGVの実用化

歩道やビルの廊下、エレベータなど、複雑な環境に対応できるAGV (Automatic Guided Vehicle) の開発。

取り組むべきAI技術開発

多様な環境認識技術の開発と精度の向上

画像だけでなく、音や路面状況（車輪の振動）など、多様なモダリティを統合した環境認識技術の開発。それと同時に、例えば静止画の集合ではなく動画を動画として認識する手法の確立など、個々のモダリティも、より効率的・高精度に解析できる技術を開発する。

多様な認識技術の開発と個々の精度向上

静止画の集合として認識



動画として認識

認識技術の精度向上に際して、例えば動画認識の場合、静止画のかたまりとしてではなく、動画そのものとして認識するなど、新たな手法を開発する

“Society 5.0”において、フィジカル空間における交通や物流の担い手として期待されている自律駆動する配送ロボットや無人搬送車（AGV：Automatic Guided Vehicle）は、実用化へ向けて様々な研究が進んでいる。実用化に向けては環境側の整備についても多くの問題を持っているが、移動主体側における動画センサを活用した空間や対象物の認識、およびそれを踏まえた行動制御についても課題が挙げられた。

何がどう行き交うか予測が難しい屋外環境に比べ、環境が整備しやすい屋内での配送ロボットやAGVの実用化を想定するとしても、動画像の画像認識技術の一層の精度向上、また未知の対象物をどのように認知し、行動制御につなげるかといった実用化へ向けたAI技術開発が必要であることが議論された。

具体的には、動画データという非常に量の大きなデータの取り扱いについて、限られたエッジ側の性能内でそれらをより効率的に扱い解析できる技術、あるいは精度の向上という観点では、動画を静止画の集合ではなく動画そのものとして（背景と、動く対象とを個別に）認識する技術の開発などが提案された。

さらには、現状の実証実験においては、突然あらわれた対象物（屋外であれば自転車や動物など）への対処には課題が多い。このため、動画以外のモダリティ、例えば音や路面状況（車輪の振動）など、多様なモダリティを統合した環境認識技術を開発することで、より安全に活動できるAGVの開発につながるのではないかという議論がなされた。

期待される社会像

社会実装例

従来とは異なる個人により最適化されたカリキュラムでの効率的な学習
 個々人に、より最適なカリキュラムや学習方法を提示することで、これまで以上に最短での学習を可能にする。

社会像に向けた取り組み

人が生み出せなかった学習プロセスを解明・提案できるAIの開発

人の学習状況を把握するだけでなく、学習する工程をAIによって解明。これによって人間には気づけなかった効率的な学習法を探索する。それに加えて、正解と試行とのずれを判定し、フィードバックできるAI技術の開発。

取り組むべきAI技術開発

人の学習工程のモデル化、AIによる学習支援

個人が学習する（あるいは失敗する）工程そのものをAIで把握してモデル化。学習の過程を解明するとともに、そのモデルでより効率的に学習できるであろう工程を探索して、提示できる技術を開発する。

学習工程の解明から効果的手法の探索



人の学習工程を解明し、それに習ったAI無数の学習例から抽出することで、その人に適したより効果的な、あるいは大きくショートカットできる学習手法を得る

「AIと共生し、一人ひとりがより良く生きる社会」というテーマにおいて、主に教育や人間の学習といった分野では、新しいスキルの習得に貢献できるAIという議論がなされた。そのなかで「人間はどのような過程でスキルを習得するのか」という工程そのものをAIが追体験するように学習し、学習工程自体のモデル化が必要であろうと提案があった。

現状、「正解が明確である問題」に対してAIが解答を示すことはできているが、「AIが人間のスキル獲得を支援する」や「AIと人間が共に学習する」といった将来像を実現するために、今後は“正解か不正解か”を超えて問題解決を考えられる機能を持つAIについての研究は必要であろうという見通しが、委員からは語られた。

まずは人間が行っている低次な行動スキルの習得過程自体をAIが学習できるようにモデル化する研究をして、そこからより高次なスキル習得についても扱い、特定のスキルに対して「習得した人間の学習過程」を、これから新たに学習する別の人間に最適化したかたちでの提示を目指す。さらには、人間には気づけなかった、生み出せなかったより効率的な学習プロセスをAIが探索し、発見することへの期待が議論された。その結果、AIと人が相互に教え合い、学習を深めていくような未来像が語られた。

これらの分野については、個々人の学習の進捗状況を把握して、次に学習すべき項目を提示するようなAIはすでに研究されているが、学習工程自体を変えるようなAI技術開発は今後の大きな技術課題となる。

期待される社会像

社会実装例

“小さな主治医”としてAIが人間を常時診断し、異変時には人間の医師が“大きな主治医”として診断する医療

対象者個人に最適化された学習モデルを持つAIが医師との介在役となり、健康の維持に貢献する。

社会像に向けた取り組み

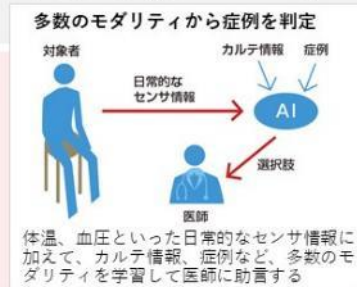
病歴その他の背景情報を学習して、医師に選択肢を提示できるAIの開発

医師と合議するための、医療向け語彙を含む高度な自然言語処理技術の開発を背景に、医師に選択肢を提示でき、患者の診断や治療順位を医師に助言、あるいは判定できるAI技術の開発。

取り組むべきAI技術開発

多様なセンサ情報などから患者を診断し、医師に選択肢を提示できるAI技術

脈拍や体温、血糖値などといった各種のセンサ情報と、病歴などのカルテ情報、症例といった多様なモダリティを統合して学習・分析して診断し、症状を判定する技術を開発する。



人命に関わるような判断について「人間はAIが下したそれを受容できるのか」という問い掛けに対し、委員会では「最終的な判断は人間が下す」という前提に立って、医療への貢献や健康寿命延伸に必要なAI技術について議論がなされた。

そのなかで「人間の医師と合議でき、治療の選択肢を提示できる」、「人間に負担の少ない方法でセンサ情報を常時取得し、小さな主治医として振る舞う」といったAI技術の必要性が提案された。社会・経済活動の根幹にある健康の維持やウェルビーイング、QOL（Quality of Life）の向上において、人間と役割を分担して活動できるAIが期待される。

開発が必要となる技術としては、医療分野で利用される専門用語などの語彙を含めた文脈を理解し、医師と合議できる高度な自然言語理解の開発が、まず求められる（医師への提案は言語でなくてもよいが、とくに緊急時は医師の言語による指示の理解は必須）。

さらには、人間の状態や行動を把握するための、脈拍や体温、血圧、血糖値、さらには顔色や言葉への反応といったさまざまなモダリティのセンサ情報を統合し、カルテ情報や症例とまとめて、状態を診断・判定できるAI技術の開発が議論された。

現状は特に学習データとなる医療情報について、その取扱いにおける倫理的な課題や、データ蓄積の分散（医療機関、企業、地方自治体などごと）により、AI学習のための基盤整備等も求められる。

期待される社会像

社会実装例

個人に最適化された医療やリハビリテーション

投薬やリハビリの最適な計画を策定し、より短期での回復や社会復帰を実現。

社会像に向けた取り組み

個々人に応じた投薬による治療計画や、リハビリテーション計画に向けた学習を可能にするヒューマンデジタルツイン

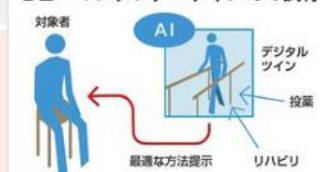
治療・投薬や、個人差が大きいリハビリテーションに際して、一人一人の特徴や症状を「ヒューマンデジタルツイン」として組み込んで作り、それを基に学習を行う。さらには、得られた知見をハプティクスなどでの確にフィードバックする技術の開発も踏まえ、人間の側もAIとの共進化に向けた行動様式を模索する。

取り組むべきAI技術開発

人体の個人別モデル化（ヒューマンデジタルツイン）

多様なセンサ情報、カルテなどの医療情報から、人間には知覚不能なモダリティのデータも扱って、症状や回復に向けた方策を学習・シミュレーションするための、高精度なデジタルツインの作成技術を開発する。

ヒューマンデジタルツインでの試行



その人をモデル化したヒューマンデジタルツインで、実際には不可能な多様な投薬やリハビリを試行して、最適解を得る

病気や怪我などからの社会復帰の最短化は、QOLの向上にとっては重要であり、そのためには個人に最適化した治療やリハビリテーション計画を作成することが必要となる。これには、人体に関するデータや、生活、行動、習慣などを把握できる各種データを用いた個人のデジタルツイン（ヒューマンデジタルツイン）を作成しておくことが、一人ひとりに合った治療やリハビリの進め方を検討する上での大きな手助けとなる。

デジタルツインについては、都市設計や教育（スキル習得）などの分野でも議論の対象となる話題だった。人間のウェルビーイングという目的においては「投薬による治療のシミュレーション」といった例や、リハビリテーションの計画作成および完治までのロードマップを作成することによって、高いモチベーションを保ちながらリハビリへ取り組めるようになることなどが議論された。

またデジタルツインによって、学習工程のモデル化と同様、治療やリハビリにおいて人間の力では発見できなかった「ショートカット方法」が見つけれられるかもしれないということも議論がなされた。リハビリを通じて身体機能を回復させる、ある訓練を継続することで特定のスキルを習得するといった目的に対して、デジタルツインで試行を繰り返すことができれば、個人に最適化した最短ルートを提示できる可能性がある。さらには、人間機能の拡張につながる、まったく新しい方法論がAIによって提案される可能性も議論となった。

ヒューマン・AIインタラクション

- 人間の五感以外のモダリティによる人間環境の測定とフィードバック
- 人間の運転手と自動運転車など、人とAIとの言語・非言語によるコミュニケーション手法の確立

データセット、データベース

- 不整合、不完全なデータを扱えるエビデンスベースのデータベース技術
- 都市を構成する人・組織・物流その他のデジタルツイン化に必要な物理データ
- 収集自体が困難なデータの生成（シミュレーション技術活用も含む）に関する研究

連合学習関連

- 個人情報など、公開が困難で複数箇所にまたがるデータを学習し、知能側で統合する（連合・分断学習）技術確立
- データフォーマットの統一、相互運用性の確保

自動運転関連

- マシンリーダブルな標識など環境側の対応
- スマート標識への劣化状況などをAIの目でメンテナンスできる仕組みづくり

人の知性の限界や価値共有

- 人間の知性の限界・認知バイアスを明らかにする研究
- 人間も含めたAI間の認識や価値共有に関する研究

安全・安心

- GAN的発想でAIセキュリティを考える技術・構想の発展
- AI技術を用いるシステムの認証機関

実験環境の整備

- 誰でもアクセス・実験できる中央実験設備など高スループットな実験がやりやすい設備の検討

AI技術の社会実装について議論が重ねられた中で、今後より議論を深めて行くべき課題として、ここまで列挙したAI技術開発以外にも、多様な分野の取り組みについて、活発な議論が行われた。

ヒューマン・AIインタラクション、または人とAIの間のコミュニケーションという観点では、まず人間の五感以外のモダリティによる人間環境の測定。これによって、人間に意識させずにAIは環境を把握でき、また人間には知覚できないものを知ることもしできる。また、自動運転車が実現した際の、人間の運転手とのコミュニケーション手法、これは言語や単にハザードランプをつけるというものではなく、あ・うんの呼吸での車線変更など、互いの挙動を理解しあって安全な交通を成立させる必要がある。そういった人とAIのコミュニケーションには、議論・研究がさらに必要だとされた。

すべてのAI技術開発において、共通の課題として挙げられる学習データの不足について、それを自動で生成するような取り組みの必要性も委員会において議論がされた。必要な動画や環境データなどを自動で取得しラベリングしてくれるロボットの開発や、災害避難時のシミュレーション、大規模な交通事故の影響予測、または宇宙開発など、必要となる学習データが「そもそも取得が極めて困難」である内容について、しかしそれが社会的に重要な研究分野である場合に、どのようにデータを生成するかを扱う研究の必要性なども提起された。

AIが多方面に実装された社会を想起すると、単一のAIが個別に学習をするだけでなく、AI同士がそれぞれの学習モデルを持ち合い、連合した学習により価値が提供されることは委員会において複数回議論がなされた。この「連合学習」や「分断学習」の技術活用が考えられる適用分野としては、医療データやカルテ情報など、個人情報を含むことで学習のために共有することが困難なデータを、学習モデルレベルで医療機関や自治体を超えて連携し連合学習することで、症状や治療のためのAI学習をデータの秘匿を確保しながら推進できる可能性などが提起された。

自動運転については、状況に応じて人間の判断を仰ぐ半自動運転システムのためのAIや、自動運転車に必要な環境情報をスマート標識などで整備することの重要性、またそれら環境側のメンテナンスを行なうAI技術開発なども議論された。

そして、将来的に人間とロボットが協働できる関係性を構築するために、現状は人間と価値を共有し合うようなタスクをAIが遂行できるわけではないが、処理できるタスクが高度化・複雑化していけば「人間は何を求めるのか」の価値理解がAIに求められる見通しについては、委員の間でも共通の認識とされた。AIと人間、あるいはAI間の価値観の共有も、さまざまな粒度で必要とされた。

また、AIの社会実装を考える上では、その基となるデータの取得や、組織・団体をまたいだデータの連携が不可欠であり、またそのデータから学習したAIをいかに安心・安全に活用していくかにおいては、セキュリティ面への対応も必須である。AIが人間の知性の弱さにつけ込むようなことが生じないように、人間側の限界を明らかにする研究も必要であることが提起された。

AI技術開発そのものの議論に付随して提案されたのは、各種シミュレーションを実施するための「元データ」を生むための実験活動を高スループット（ハイスループット）に実施できるような実験環境の整備について。高精度なデータモデルを作成するうえでも、その大元となる実験データを短い時間で効率よく収集する必要がある、汎用的に対応できる環境で高効率に実験できることが、様々な化学研究の下支えとして大きな意味を持つことが、委員からは国家の取り組みとしても重要であると重ねて指摘があった。

用語集

インフォマティクス

情報学のことだが、AIに関連して言及される場合は「マテリアルズ・インフォマティクス」や「バイオ・インフォマティクス」など、新たな材料などの探索を、膨大なデータを基にした機械学習、それを踏まえた実験と結果のフィードバックといった形で、より高効率で行なうことを指す。

演繹（えんえき）と帰納（きのう）

演繹とは、普遍的な原則から個別の事象を推論する手法。帰納はその逆で、さまざまな事象から結論を導き出す手法。

GAN

GAN（Generative Adversarial Networks）とは、敵対的生成ネットワークとも呼ばれるが、生成と識別の2つのネットワークで構成され、生成側が出力した内容を識別側が判定。識別側は実際のデータと比較して判定するので、生成側は識別側が判定できないくらい実際のデータに近いものを出力しようと学習していく。

機械学習

コンピュータプログラムが訓練データもしくは学習データから学習して、実施するタスクの性能が改善されるものを、機械学習と呼ぶ。例題をもとに学ぶ「教師あり学習」と、例題のない「教師なし学習」、そして強化学習の大きく3つに分類される。

強化学習

機械学習の課題設定の一種で、環境中で報酬（罰も含む）を得ながら試行錯誤を繰り返すことを通じて、未来にわたる報酬の期待値を最大化するような行動戦略を学習する課題。例えば、掃除などの作業が素早く終わるように、試行錯誤しながら適切な動き方を学ぶこと。

高スループット（ハイスループット）

ロボットを用いて自動的に実験を行なうなど、人の手による職人技ではなく、AIやロボットを活用して多数の材料の探索を効率よく行なうことを、ハイスループットスクリーニングという。

System1、System2

→2階建て脳を参照。

シミュレーション

対象となる何かの動きを真似て試行すること。実際の何かの動きにどれくらい似せられるかによってその精度は異なるが、数学的なモデルに置き換えて試行することで、よりリアルな結果を出せたり、あるいは実現不可能なシチュエーション（大規模災害を発生させてみるなど）でも試行してみることができる。シミュレーションには、例えば避難する人など、1つ1つのエージェントが自律的に動作し、それら全体での最適な避難経路を試行するマルチエージェント、あるいは対象物をメッシュ（網の目）状の単純な領域に分割し、それぞれの領域ごとに計算する有限要素法など、さまざまな手法がある。

スモールデータでの学習

少ない量のデータ（スモールデータ）から複雑な課題を学習すること。課題についての事前知識や、類似した課題の学習結果を利用する。

世界モデル

周辺環境（すなわち世界）のモデルを、限られた学習データからの学習によって構築すること。世界モデルを獲得すると、例えば観測できない／していない視点からの画像を予測できるなど、フレーム問題の解決につながると期待されている。

セル生産方式

限られた工程を行なう多くの人やロボットをベルトコンベヤに並べ、流れ作業で大規模かつ大量に生産するライン生産方式とは異なり、1人か少数のチームで、ほぼすべての生産工程を担当する生産方式。多様な製品の生産への対応が可能。

DX（デジタルトランスフォーメーション）

企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること。

DNN（Deep Neural Network）

ディープ（深層）ニューラルネットワークとも呼ばれるが、4層以上の多くの層で構成されるニューラルネットワーク（神経系を模したネットワーク構造で情報を処理するモデル）。ディープラーニングの基礎となる技術。

ディープラーニング（深層学習）

層の数が多（深い）ニューラルネットワークを用いた機械学習手法。層の間のニューロンの結合の強さなどのパラメータの値を学習用のデータを使って調整し、望ましい振る舞い（入出力関係や情報の確率分布）を獲得させる。隠れ層に階層的な特徴表現を獲得することによって、一般物体認識などの課題で従来手法を大きく上回る性能を達成したため、研究や応用が進められている。

デジタルツイン

デジタルの双子（ツイン）のように、コンピュータの内部やサイバー空間の中に、実際の人やモノなどを再現する取り組み。データだけでなく、その振る舞いも実際と同様にシミュレートすることで、仮想的にいろいろな検証や実験などを試すことができる。

データ駆動型

データドリブンとも呼ばれるが、経験や勘、人間の感性ではなく、データとアルゴリズムに従って物事を進める考え方。

データセット

AIが学習するための、サンプルの集合。データセットの内容や規模がAIの学習精度を大きく左右する。

2階建て脳

人間の脳を、直感のように素早く動物的な思考をする1階部分と、理性的にじっくり考える言語的な思考をする2階部分の、2階建てとして捉える考え方。各階をSystem1、System2と呼んだり、動物OSと言語アプリに分類したりと分類の仕方にもいくつかの種類があって、それぞれ定義も異なるが、AIの高度化に向けて概ね2つの階層で考えることでは一致している。

ハプティクス

触覚提示技術のことで、ゲーム機のコントローラが、レースゲームで障害物にぶつかるように振動するように、振動や力を加えることによる触覚で、利用者に情報を伝える技術。

フィードバック

機械の制御などにおいて、出力された結果を入力側に戻すこと。これによって、例えば入力としてモータを駆動した結果、出力として歯車が何回転したかによって、モータをあとどのくらい駆動すればいいのかが制御できる。

マシンリーダブル

この場合のマシンはコンピュータを意味しており、コンピュータが読み取れる、理解できるような形でデータやコンテンツを記述すること。

マルチモーダル

画像（視覚）、音声（聴覚）、テキスト（言語）などの異なる種類（モダリティ）の情報を含んでいること。例えば、映画はマルチモーダルな情報である。

メタ認知

自分の認知やその過程を客観視する能力。対象物がどういうものかを判断した際、それがどれくらい確からしいかを客観的に評価することで、AIのより効率的な学習へつながることが期待されている。

レジリエンス

復元力や弾性を表す言葉で、個人では挫折や失望からの回復といった意味でも使われるが、ここでは災害に対する都市や企業の強靭さ・ねばり強さ、人的・経済的被害を最小限に抑える仕組みなどを指す。