

次世代人工知能技術の研究開発

基本計画書

1. 目的

現在の人工知能技術、特に深層学習は、大量のデータを莫大な計算資源と電力を用いてコンピュータに学習させることで実現している。しかし、適用分野においては大量のデータや莫大な計算資源等を用意すること自体が困難であり、人工知能技術が十分に活用できていない分野も多い（例えば、少ない症例データに基づく分析が必要な医療分野や、バッテリー駆動のため計算性能を抑えている組込デバイス・スマホ等）。他方、必ずしも大量のデータや莫大な計算資源等がなくても人工知能技術が有効に機能するためのヒントとなることが期待される人間の脳活動メカニズムが、脳活動計測技術の高度化に伴い次第に解明されつつある。そこで、脳の認知メカニズム研究における成果を応用した「脳型認知分類技術」及び脳の演算処理メカニズム研究における成果を応用した「脳型演算処理技術」の2つを内容とする次世代人工知能技術を確立する。これにより、多くの分野において人工知能技術の利活用が促進され、第4次産業革命、Society5.0の実現、ひいては我が国が直面する少子高齢化による労働力不足等の社会的課題の解決に寄与することを目的とする。

2. 政策的位置付け

- 「日本再興戦略 2016」（平成 28 年 6 月 2 日 閣議決定）において、「革新的な基盤技術の構築、人工知能等のソフトウェアモジュール等のツールの提供や標準化等による人工知能の社会実装の加速、研究環境の向上等を含め、本年中を目途に世界レベルの研究・産業化を行うために必要な施策を具体化することで、研究開発から社会実装までを一元的に推進する」とされている。
- 「科学技術イノベーション総合戦略 2016」（平成 28 年 5 月 24 日 閣議決定）においても、「自ら特徴を捉え進化する人工知能を視野に、革新的な基礎研究から社会実装までの研究開発を推進する。また、脳科学やより革新的な人工知能研究開発を推進させるとともに、府省連携による研究開発成果を関係省庁にも提供し、政府全体として更なる新産業・イノベーション創出や国際競争力強化を牽引する」とされている。

- 「世界最先端 I T 国家創造宣言」（平成 28 年 5 月 20 日 閣議決定）においても、「様々な分野におけるデータ利活用の促進に技術的な側面から貢献するため、関係府省庁等が連携し、人工知能等に係る革新的な基盤技術の研究開発を強力に推進」とされている。
- 安倍総理の指示により、平成 28 年 4 月に設置された人工知能技術戦略会議の下で、総務省、文部科学省、経済産業省が連携して人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップについて、平成 28 年度中の策定を目指して検討を進めている。その中で総務省は、脳情報通信技術及び言語処理技術について基礎研究から社会応用・産業応用までを広く推進する役割を担っており、脳科学の知見を取り入れた次世代人工知能技術を開発することが期待されている。
- 「新たな情報通信技術戦略の在り方 第 2 次中間答申」（平成 28 年 7 月 7 日 情報通信審議会）においても、「脳科学の知見を基にした次世代の人工知能の研究開発等を推進することにより、人の感性を把握し、意思決定や行動を円滑に行うことができる新たなアルゴリズム開発を行い、その成果を社会実装することで産業競争力・国際競争力を強化し、社会に貢献していく必要がある」とされている。

3. 目 標

（1）政策目標（アウトカム目標）

現在、我が国が直面する少子高齢化に伴う労働力不足等の社会的、経済的課題を解決する技術として、人工知能技術の活用に大きな注目と期待が集まっており、人工知能関連産業の国内市場規模は、2015 年の 3.7 兆円から、2030 年には 87 兆円にまで成長すると予測されている^{*1}。しかし、現在の人工知能技術は大量の学習データ及び莫大な計算資源と電力を必要としており、活用可能な分野・業種は極めて限定されている。また、人工知能技術を商用化可能な分野では、既に巨大なビッグデータを有する欧米企業が数多く進出し、競争が激化している。我が国の国際競争力を向上させるためには、我が国が十分に勝負できる分野への適用が可能な人工知能技術を、世界に先駆けて開発することが重要である。

他方、人間や動物は、少ないサンプルから学習して、知覚対象を容易に正しく認知することができる²とされており、こうした脳科学の知見を活用した人工知能技術の研究開発の新たな進展が、国内外において期待されている。諸外国においては、米国での BRAIN Initiative、欧州での Human Brain Project 等、最新の計測・制御技術に基づいた現代的な脳科学研究が国家プロジェクトとしてスタートしており、脳の情報処理メカニズムの解明、病気の治療や医療への応用と並んで、人工知能技術への応用に関する

る研究開発が進められている。我が国ではこれまでに脳科学の様々な分野で世界をリードしており、その知見を活用した次世代人工知能技術の研究開発を早急に推進する必要がある。

そこで、脳の認知メカニズムに倣い、少数のデータからでも学習し、柔軟な認知を可能とする「脳型認知分類技術」及び脳の演算処理メカニズムに倣い、超低電力かつスケーラブルな演算処理を可能とする「脳型演算処理技術」の2つを内容とする次世代人工知能技術を確立する。この2つの技術を確立すれば、少数データ、僅少な計算資源の下でも柔軟な認知を実現し、現在の人工知能技術に比べて、活用可能な分野・業種を一気に拡大することが可能になる。そのため本研究開発では、医療・介護、防災・インフラ、生活支援分野等の各分野・業種での人工知能技術の活用の加速化や新産業・ビジネスの創出に貢献し、研究成果に関する国際標準の獲得等による我が国の国際競争力の維持・向上に寄与することを政策目標とする。

※1) 出典:次世代人工知能推進戦略 図 II-2 人工知能関連産業国内市場予測 (EY 総合研究所 2015年)

http://www.soumu.go.jp/main_content/000428750.pdf

(2) 研究開発目標 (アウトプット目標)

本研究開発では、脳の認知メカニズムに倣い、少数のデータからでも学習し、柔軟な認知を可能とする「脳型認知分類技術」及び脳の演算処理メカニズムに倣い、超低電力かつスケーラブルな演算処理を可能とする「脳型演算処理技術」の2つを内容とする次世代人工知能技術を確立する。

また、当該技術の国際標準化、特許の申請を通じて、人工知能技術分野における我が国の国際競争力の強化を図る。

4. 研究開発内容

I. 人間の脳の認知メカニズムに倣った脳型認知分類技術の研究開発

(1) 概要

現在の深層学習と比較して、人間の認知・学習メカニズムには、①様々な感覚情報を統一的に取り扱い、少ないデータからの学習が可能である、②ボトムアップの情報処理だけでなくトップダウンの意思決定に基づく柔軟な認知分類が可能である、③学習済みの知識を再構成・再分類することが容易である、といった特徴が備わっている。そうした脳の認知メカニズムに倣い、人工知能技術による柔軟な認知分類を可能とする脳型認知分類技術の研究開発を実施する。

(2) 技術課題

脳型認知分類技術として、以下の3つの要素技術の研究開発を行う。

ア) 識別分類モデル化技術の確立

現在の深層学習では、特徴量抽出において、学習用に整形された大量のデータが必要となる。特に、画像や音声、動画等のデータの種類に応じた異なる前処理が必要である。このことが、人間が当たり前に行っているような、学習用に整形されていない「実環境」に対する柔軟な環境認知を阻害している。同時に、深層学習を機能させるためのデータ整備の高コスト化が問題視されている。

他方、人間は、視覚や聴覚等の異なる種類の知覚情報を、脳神経細胞の発火という共通の形式で処理している。また、最近の脳科学研究において、人間の脳の認知プロセスとして、知覚した情報を個別の要素に分解した上で、各要素を目的に応じて再統合することで、高度な認知を実現しているとの仮説も立てられている。

そこで、人間の脳の認知メカニズムに倣い、知覚情報を統一的モデルとして把握し、異なる知覚情報を共通の形式に基づいて識別分類することを可能とする識別分類モデル化技術を確立する。

イ) 統合処理技術の確立

現在の深層学習では、入力されたデータからそれを表現する最適な基底(内部表現)を抽出し、その組合せで元の情報を再構成する。その際、基底の抽出は自動的に行われるため、利用者の目的に沿った基底が抽出されるとは限らず、またその組合せを利用者の目的に合わせて指定することもできない。

他方、最近の脳科学研究では、脳内複数領域の解析が進展した結果、人間の脳の認知プロセスにおいては、知覚した情報を個別の要素に分解し各要素を目的に応じて再統合することで、柔軟な認知を実現しているとの仮説も立てられている。この仮説によれば、人間の脳は、要素分解と再統合というボトムアップ処理とトップダウン処理を組み合わせることにより、入力情報の柔軟な認知(人工知能技術における、入力情報に対するカテゴリ定義・生成・分類に相当する機能の柔軟性)を実現していると考えられている。

そこで、そうした人間の認知メカニズムに倣い、入力された情報を個別の要素に分解した上で、判断目的・判断方針に対して必要とする要素の選択、相互接続の制御、入力情報の欠損の補完等を実現し、入力情報の正確かつ効率的な分類を可能とする統合処理技術を確立する。

ウ) カテゴリ適正化技術の確立

一般に深層学習では特徴量抽出のプロセス自体がブラックボックス化しているため、利用者が期待する特徴量が常に得られるとは限ら

ず、また得られた特徴量の意味付けが困難である。これらは、厳格な製品仕様を要求する工学分野への応用を困難にし、柔軟な学習や個々の利用者に応じたカスタマイゼーションの可能性を阻害している。

そこで、人工知能が出力したカテゴリについて意味付けし、カテゴリ分類に誤りがある場合はその誤りを外部から修正可能とする等、カテゴリ形成のプロセスを可視化した上で、外部からのカテゴリへの意味付けや修正等を可能とするカテゴリ適正化技術を確立する。

(3) 到達目標

ア) 識別分類モデル化技術

- ・画像、音声等の異なる種類の入力データに対してその入力の特徴を表し、かつ識別分類処理に利用可能な共通のモデルを定義し、多種の入力データに適用可能とする。なお、当該モデルは医療・介護、防災・インフラ、生活支援分野等の各種分野への応用を視野に入れて検討すること。

イ) 統合処理技術

- ・深層学習等では認知分類が困難な非定形データ（学習用に整形されていないデータ、火や雲等の形の定まらない対象のデータ）について、識別率 50%程度の認知（非定形データ中の未知の対象を未知と識別することを含む）を可能とする。
- ・入力データを分類する際、深層学習が必要とするデータ量以下で、深層学習と同精度のカテゴリ分類を可能とする。
- ・人工知能に任意の判断目的・判断方針を入力することで、入力データを当該判断目的等に応じたカテゴリに分類することを可能とする。
- ・判断目的等の変更に応じて、既に形成されたカテゴリの再構成を可能とする。このとき、どのカテゴリにも所属しない入力が存在した場合には新たなカテゴリを生成可能とする。
- ・判断目的等の入力から短時間で、事前に作出した大量のカテゴリのうち、適切なカテゴリへの分類・再構成を可能とする。
- ・判断目的等に基づくカテゴリの生成再構成過程を記録し、可視化を可能とする。

ウ) カテゴリ適正化技術

- ・可視化されたカテゴリにおける分類結果、さらにその意味付け結果、生成過程に対して外部からのカテゴリそのものの修正変更、生成過程の修正変更を可能とする。

II. 人間の脳の演算処理メカニズムに倣った脳型演算処理技術の研究開発

(1) 概要

現在の深層学習は、ニューラルネットワークを多層化することで学習を

実現しているため、エネルギー消費の観点で課題を抱える。また、課題 I の認知分類機能は、情報の柔軟な認知を実現するために、情報を各要素に分解した上でそれを再統合するというプロセスを経ることから、それだけ多くの計算を要することとなり、やはりエネルギー消費の観点で課題が生じる。

この課題を解決するために、脳神経回路網の演算処理メカニズムに倣い、新たな演算処理モデル等を実現することにより、超低電力での演算処理を可能とする脳型演算処理技術の研究開発を行う。

(2) 技術課題

脳型演算処理技術として、以下の 3 つの要素技術の研究開発を行う。

ア) 超低消費電力演算処理技術の実現

現在の人工知能技術は、エネルギー消費の観点で課題を抱えている。例えば、世界トップクラスの囲碁棋士に勝利したアルファ碁は、1000CPU と 200GPU を駆使しておよそ 25 万 W もの電力を消費すると言われている。また、一般に深層学習では、複雑な処理を行わせるために階層を増やしていく必要があるため、消費エネルギーは今後も桁違いに増えていくことになる。

一方、脳は演算処理を桁違いの省エネルギーで実現している。人間の脳は 1 W 程度のエネルギー消費でアルファ碁と同様の情報処理を実現できると考えられる。人工知能技術においても同様の省エネルギー化を実現するためには、既存のコンピュータアーキテクチャのみならず計算アルゴリズムまでも見直すことが必要であることから、計算メカニズムの最小単位である脳型演算基本回路を作るために必要となる、脳の神経回路構造に倣った超低消費電力演算処理技術を実現する。

イ) 脳型演算モジュールの実現

ア) の技術により実現された脳型演算基本回路を社会実装するためには、回路を集積してモジュール化する必要がある。

このため、脳の神経回路構造に倣い、超低電力での演算処理を可能とする脳型演算モジュールを実現する。

ウ) 演算処理制御技術の実現

脳型演算モジュールについて、外部からの動的構成・再構成が不可能となると、学習によるニューラルネットワークの構成の変化に対応できず、課題 I の認知分類機能を実現するメカニズムを含む様々な情報処理に対応するモジュールとはならない。

このため、ア) 及びイ) で実現される脳型演算モジュールを動的に構成・再構成可能であり、かつスケーラブルとするための演算処理制御技術を実現する。

(3) 到達目標

ア) 超低消費電力演算処理技術の実現

- ・脳型演算基本回路において、従来のデジタル演算回路に比べて大幅な消費電力の削減が可能な超低消費電力演算処理技術を実現する。

イ) 脳型演算モジュールの実現

- ・脳型演算モジュールにおいて、深層学習に比べて超低消費電力量で、次世代人工知能技術の学習を可能とする。
- ・DNN^{※2}（特にCNN^{※3}）、RNN^{※4}などの機能を従来方式に比べて超低消費電力で実現できる脳型演算モジュールを実現する。

※2) DNN (Deep Neural Network) : 多層積み重ねたニューラルネットワーク。

※3) CNN (Convolutional Neural Network) : 畳み込み演算に基づいたDNN。

※4) RNN (Recurrent Neural Network) : 有向閉路を持つニューラルネットワーク。

ウ) 演算処理制御技術

- ・演算回路の機能、構造などの初期設定が可能であり、重み計算などの演算処理結果をリアルタイムで演算処理過程等にフィードバックし、脳型演算回路構造や計算規模等の動的再構成を行うことのできる演算処理制御技術を実現する。

5. 実施期間

平成29年度から平成31年度までの3年間

6. その他 特記事項

(1) 特記事項

提案者は、下記課題Ⅰ、Ⅱのいずれか又は複数の課題に提案することができる。なお、いずれの研究開発の受託者も相互に連携、協力して研究開発を行う。

また、課題Ⅰの受託者は本研究開発課題全体のとりまとめを行うものとする。

課題Ⅰ．脳型認知分類技術

課題Ⅱ．脳型演算処理技術

(2) 提案及び研究開発に当たっての留意点

- ① 提案に当たっては、基本計画書に記されているアウトプット目標や到達目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めるとともに、アウトカム目標の達成に向けた適切な研究成果（アウトプット等）の

取扱方策（研究開発課題の分野の特性を踏まえたオープン・クローズ戦略を含む）について提案すること。

- ② 実用化については、人工知能関連技術に関するこれまでの内外の成果動向を記載のうえ、その点を踏まえて実用化目標年度、実用化に至るまでの段階を明示した取組計画等を記載し、提案すること。また、製品・サービスの実現に向けたアプローチが考えられる場合には、製品として実装する際のコスト等（メンテナンス等の後年度負担やソフトウェア産業への展開も含む）への配慮を含め、具体的な取組計画を記載しつつ、提案すること。
- ③ 目標を達成するための具体的な研究方法、実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について提案書の中にできるだけ具体的に記載すること。複数機関による共同研究を提案する際には、分担する技術間の連携を明確にし、インタフェースを確保すること。
- ④ 研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くと共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。

（３）人材の確保・育成への配慮

- ① 研究開発によって十分な成果が創出されるためには、優れた人材の確保が必要である。このため、本研究開発の実施に際し、人事、施設、予算等のあらゆる面で、優れた人材が確保される環境整備に関して具体的に提案書に記載すること。
- ② 若手の人材育成の観点から行う部外研究員受け入れや招へい制度、インターンシップ制度等による人員の活用を推奨する。また、可能な限り本研究開発の概要を学会誌の解説論文で公表するなどの将来の人材育成に向けた活動についても十分に配慮すること。これらの取組予定の有無や計画について提案書において提案すること。

（４）研究開発成果の情報発信

- ① 本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施すると共に、実用に向けて必要と思われる研究開発課題への取組も実施し、その活動計画・方策については具体的に提案書に記載すること。
- ② 研究開発成果については、原則として、総務省としてインターネット等により発信を行うとともに、マスコミを通じた研究開発成果の発表、講演会での発表等により、広く一般国民へ研究開発成果を分かりやすく伝える予定であることから、当該提案書には、研究成果に関する分かりやすい説明資料や図表等の素材、英訳文書等を作成し、研究

成果報告書の一部として報告する旨の活動が含まれていること。さらに、総務省が別途指定する成果発表会等の場において研究開発の進捗状況や成果について説明等を行う旨を提案書に記載すること。

- ③ 本研究開発終了後に成果を論文発表、プレス発表、製品化、Web サイト掲載等を行う際には「本技術は、総務省の「次世代人工知能技術の研究開発」（平成 29 年度一般会計予算）による委託を受けて実施した研究開発による成果です。」という内容の注記を発表資料等に都度付すこととする旨を提案書に明記すること。

（5）その他

研究開発の実施にあたっては、国立研究開発法人等が整備するテストベッド等の活用を検討し、研究開発の効率化を図るように努めること。