

脳の仕組みに倣った省エネ型の人工知能 関連技術の開発・実証事業

基本計画書

1. 目的

総務省では、未来の多様で豊かな情報通信を実現するために必要な基盤的技術の研究開発の一環として、脳情報と情報通信技術を融合させた基礎研究をこれまで推進してきた。

さらに、2020年10月26日に菅内閣総理大臣より、2050年までに温室効果ガスである二酸化炭素(CO₂)ネット排出量ゼロ(カーボンニュートラル)を目指すという政策目標が示され、電子デバイス向けの超低消費電力に関する技術の進展、社会実装はより一層喫緊性のある政策課題となっている。

このような状況を背景として、本研究開発では、あらゆるものが情報通信でつながり仮想空間と現実空間が高度に融合していく Society5.0 の進展に際してエネルギーを制約要因としないために、更に大幅に省エネな人工知能技術を確立することで情報通信由来の CO₂ 排出を減らす (Green of AI) とともに、脳に倣った次世代人工知能をツールとして活用し、情報通信機器の小型化、これまでの人工知能では適用が難しい領域やユースケース(学習データが取得にしにくく少数データでの学習をせざるを得ない領域、例えば労働集約的な産業におけるベテラン人材の動きや少ない症例結果に基づく分析が必要な医療分野等を想定)への人工知能の適用による既存作業の高効率化、再生可能エネルギーの導入促進等を図ることで CO₂ 排出の削減 (Green by AI) に適用することも念頭において、大幅な省エネが可能になる人工知能技術が必要である。

このような観点について、既存の人工知能(機械学習や深層学習等、以下同じ)の省エネ化に対しては、計算ビット長の削減や乗算回路の削減、冗長計算の集約による計算量や計算資源の削減等の様々なアプローチがあり、既存の人工知能の学習量の削減に対しては、少数学習データから敵対的データ生成を応用し、仮想的に大量の学習データを生成する技術や転移学習等の研究がなされている。しかしながら、NeurIPS 等の著名な国際学会や情報処理学会においても、人工知能の省エネ化に関する発表論文が全体に占める割合は限定的である傾向にある。

他方で、情報通信分野における今後の研究開発の重点領域等についてとりまとめた「新たな情報通信技術戦略の在り方 第4次中間答申」(令和2年8月5日総務省 情報通信審議会)において、「脳機能モデルを基にした新しい ICT 技術や脳に倣った AI 技術の研究開発を実施する」とされていること等も踏まえ、総務省では、国立研究開発法人情報通信研究機構脳情報通信融合研究センターにおける極めて少ないエネルギーで作動している脳に倣った人工知能に関する基礎研究等

を推進しているところである。

さらに、総務省における「次世代人工知能技術の研究開発」（平成 29 年度～令和元年度実施）では、脳内の数理的な判断アルゴリズムを基にして、これを人工知能に反映させることで、少数データかつ少ない電力で学習が可能な人工知能の可能性が示された。

このようなこれまでの各種取組の経緯を踏まえつつ、脱炭素社会に貢献していく観点で、脳に倣った次世代人工知能デバイス関連技術に取り組む。

上記の目的の実現に向けて、「超低消費電力(Green of AI)」、「これまでの人工知能では適用が難しい領域での人工知能による作業等の合理化(Green by AI)」を実現し得る脳の仕組みを生かした人工知能について、クローズ&オープン戦略に留意することにより各種民間事業者における利活用を可能とするとともに、そのような人工知能を用いたデバイスの製品化に向けた民間事業者の事業予見性を高めるために必要な技術開発・実証を実施する。

また、世界に伍する重要な関連技術分野の特許取得や技術的貢献を実現することで、国際産業競争力の強化や、気候変動枠組み条約等での国際交渉におけるプレゼンス向上といったコベネフィットを追求する。

(注) *NeurIPS : Neural Information Processing Systems*

2. 政策的位置付け

- 「統合イノベーション戦略 2020」（令和 2 年 7 月 17 日 閣議決定）では、「デジタル・トランスフォーメーション（DX）に必要な環境の整備の一環として、デジタル分野の気候変動対策を強化する。具体的には、社会の急速なデジタル化によって生じる通信トラヒックの増加に伴い、データセンター等における CO2 排出の増加が懸念されることから、省エネ技術の高度化・実装及び再生可能エネルギーの活用によるデータセンターのゼロエミッション化・レジリエンス機能強化を推進する。（担当 総務省・環境省）」とされている。
- また、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（令和元年 6 月 11 日 閣議決定）においては、「ICT の活用により情報通信分野のエネルギー消費量が増大することを抑制するため、脱炭素化に資する通信システムも推進する。」「人工知能（AI）・モノのインターネット化（IoT）、シェアリングやデジタル化等を活用する新たな事業形態や社会システムに対応するエネルギー利用の革新を目指す」とされている。
- さらに、「Beyond 5G 推進戦略 -6G へのロードマップ-」（令和 2 年 6 月 30 日 総務省「Beyond 5G 推進戦略懇談会」取りまとめ）では、「脳型 AI（脳情報通信技術）」が「超低消費電力」を実現する主要技術の 1 つとして位置づけられており、今後の電力消費量増加に備えるための技術とされている。
- 加えて、「新たな情報通信技術戦略の在り方 第 4 次中間答申」（令和 2 年 8 月 5 日 総務省 情報通信審議会）においては、今後、戦略的に推進すべき研究領域の 1 つとして「AI（脳情報通信、データ利活用）」が特定され、その中で「脳情報通信技術の応用展開に関する研究開発」として「脳機能モデルを基にした新しい ICT 技術や脳に倣った AI 技術の研究開発を実施する」ことが示されている。

3. 目 標

(1) 政策目標（アウトカム目標）

現在、情報通信分野で懸念されるエネルギーの課題として、2030年以降、5Gの浸透・普及や人工知能・IoTの進展に伴うネットワークへの接続機器数の増大により、爆発的なトラフィックの増加及び人工知能の学習のための多量な電力の消費が予想されている。国立研究開発法人科学技術振興機構の「低炭素社会実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書・情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響（Vol.1）平成31年3月」によると、2030年には、現在の総電力の倍近い電力をIT関連機器だけで消費するとの予測が示されている。

Society5.0の進展により、あらゆるものがネットワークにつながり、人工知能やICTがあらゆる分野と融合していく社会が想定される中、各種機器が人工知能やICTとつながることで膨大なエネルギー消費が必要となることが予見される。そのため、省エネ性能が高く、安価で、多様なメリットを有する人工知能技術が実現されなければ、情報通信インフラ及び将来的にICTと深く結びつく分野由来のCO2排出が情報通信の発展の阻害となり得ることも懸念される。

こうした課題を踏まえて、本研究開発は、情報通信社会のグリーン化を実現し得る次世代人工知能デバイスを実社会に実装するために必要な技術を確認するとともに、脱炭素化に向けて技術的イノベーションから国際社会へ貢献し得る重要な特許・論文等につながる成果を創出することを狙いとする。特に、製品の出口戦略においては、人工知能分野の特性を踏まえ、オープン・クローズ戦略等を適切に用いることにより、国内企業等が低消費電力というユニークな観点で強みを持ち、一定の領域で主導権を確保していくことが可能となる形でグローバルスタンダードの確立へとつなげる。

このような取組により、我が国の産業競争力の強化や、国際社会におけるプレゼンスの向上等をはじめとする国際交渉力の強化に資するとともに、政府としての重要課題である日本社会のデジタル化・グリーン化に寄与していく。

(2) 研究開発目標（アウトプット目標）

本研究開発では、脳科学の知見を生かした高度な低消費電力を実現する人工知能関連技術を確認するとともに、その技術を適用することで、データセンター等の情報通信関連分野等における電力消費増加の抑制に資する活用方策に係る実証試験を行う。

また、当該技術の国際標準化、特許等の提案を通じて、上記に記載の人工知能技術関連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

(1) 概要

ヒトの脳は極めて少ないエネルギーで作動し、少数の学習データで様々なことを認識・判断・予想等を実現している。ヒトの脳について完全に解明するには極めて長い年月が必要とされるが、昨今の脳科学等の発展により、その成果の一部を情報処理や情報通信に活用する取組が実現しつつある。

本研究開発では、脳情報研究の知見に基づき、超低消費電力で作動し得る時空間環境認知モデル（動的に変化する環境が今後どのように変化していくかを予測し、理解すること。これにより無駄な処理や動作を排除すると同時に目的に適合した判断や理解の高精度化が実現される。）を確立・活用することで、低消費電力で動作可能なソフトウェア・ハードウェアとして実現させるための研究開発を実施する。

さらに、社会課題の解決という観点から、脳情報科学に基づく人工知能を ICT インフラ等の関連領域の最適化等への活用するための実証試験を実施する。

(2) 技術課題

脳の高精度な時空間環境認知メカニズムに倣えらうことで、超低消費電力での作動を可能とする人工知能技術、及び当該人工知能と情報通信インフラを組み合わせた低電力消費型の情報通信システムの実現に向けて、以下の3つの技術の研究開発・実証に取り組む。

ア) 脳の情報処理(時空間環境認知)メカニズムを解明し、超低消費電力で作動する時空間環境認知モデル化技術の確立

現在の第三次人工知能ブームをけん引しているとされる深層学習は、ヒトの脳の神経構造を模倣し判断や意思決定を行っている。この深層学習や一般的な機械学習等に用いられる人工知能は、大量のデータと莫大な計算資源及び電力を必要とし、学習・チューニングを経て、特定の分野において常に高い精度での作業（例：画像の識別等）を可能としている。

一方で、膨大な計算のために大量の電力や前処理を施した大量かつノイズの少ないデータが使われること、その結論がなぜ導き出されたのか説明が不可能であること、例えば画像認識において画像データの一部の欠損が最終的な結果に大きく作用する場合があること等、様々な課題も指摘されている。

このように、深層学習には課題もある一方で、ヒトの脳はわずか 20W 程度の極めて小さなエネルギーで思考することが可能であり、現在の環境を、時間軸を有する少数の連続的なデータから状況認知し、将来を目的に応じた精度で的確に推定することができる。また、結論に至った理由も説明可能である。さらに、大きな特徴として、時間軸を有する連続的な情報から、特定の傾向の変化

についてノイズ情報あるいはトレンドが大きく変わったかどうか等を判定し、常に予測と現状を比較照合することで、予測誤差が動的に小さくなるように予測値を修正するとともに、誤差が大きくなるような大幅な環境の変化に対しても過去を含めて予測を見直すことで、常に精度の高い予測が可能である等の優れた機能を有する。

このような、数理的な意味で優れた脳の判断のメカニズムについては、脳情報科学や情報通信工学の発展により、一部が解明されつつある。それらの知見の一部をモデル化し、人工知能として実現するような事例も登場しつつある。

完全なヒトの脳の理解には長い時間を要するが、優れたヒトの脳の仕組みの一部を高い水準で再現することで、このような脳の仕組みを生かした人工知能に関する研究開発を促進し、Society5.0の実現に資する、多様な分野に適用可能であり超低消費電力で動作する人工知能の実現が期待される。

本研究開発では、高精度な時空間環境認知や時間軸を有する時系列データから予測誤差を抑制して将来の行動を推定するヒトの脳のメカニズム等を活用し、少数学習データにより超低消費電力で作動可能なモデルを確立する。

さらに、既存の人工知能との差別化の観点で、学習データが非常に獲得しにくい領域（例えば製造現場の品質管理や症例が少ない病気の診断等）においても作動が可能になることを目指す。既存の人工知能においては、学習のためのデータ数が1000～10000という単位で必要となるが、これを10～100程度以下（従来の1/100程度のデータ量）にすることで、様々な領域において人工知能による最適化が可能となるとともに、既存の人工知能に係る前処理等への活用も期待できる。

イ) 低消費電力型の脳型人工知能システムの確立

課題ア)において実現する時空間環境認知モデル（ソフトウェア）の特性を十分に活用するために、超低消費電力で作動し、各種センサーデバイスやエッジコンピューティングシステム、データセンター等に搭載可能なハードウェア技術を確認する。これにより、多様な分野で人工知能を核とするICTインフラ等の低消費電力化が実現可能となるシステム（以下、「当該低電力消費型AIシステム」という。）を確認する。

また、本技術の有効性を検証するため、消費電力の観点で既存の人工知能技術との比較が重要となるが、現時点で人工知能の消費電力に関する精緻かつ詳細な消費電力計測・分析技術に関する研究事例や利用できる技術が存在しないことも課題である。

そのため、当該低電力消費型AIシステムを確認するとともに、人工知能分野における精緻かつ詳細な消費電力計測技術ならびに分析技術を確認する。これらの技術を用いることで、当該低電力消費型AIシステムと既存人工知能システムとの精緻かつ詳細な比較が可能となり、当該低電力消費型AIシステム

の有効性が検証可能となるとともに、これまでに取組事例の少ない人工知能とエネルギー消費に関する領域について重要な知見を獲得・整理することが期待される。

また、既存の人工知能で一定の処理を実施する場合には、ハイエンドモデルのGPUが複数台必要になり、この場合の消費電力は1000W前後が見込まれる。他方で、人工知能を小型なシステム（例えば、USBサイズの装置で実行可能なもの）にする場合には、消費電力を少なくとも数W程度にする必要がある。このため、既存の人工知能の1/1000程度の消費電力の達成を目標とする。

ウ) 超低消費電力型の脳型人工知能システムを用いたサイバー・フィジカルシステムの最適化・省電力化技術の確立

Society5.0やBeyond 5Gの実現のためには、情報通信におけるエネルギー消費の低減が極めて重要となる。ICTインフラの省電力化が喫緊の課題であるところ、課題ア)～イ)で実施する人工知能そのものの省電力化に加え、ICTインフラ全体の最適化による省電力化も重要な課題である。

このため、課題イ)で開発した超低消費電力で作動する当該低電力消費型AIシステムを用いて、サイバー及びフィジカルシステムの省電力化技術を確立することが求められる。サイバーシステムとしては、センサー等のエンドデバイスからエッジコンピューティングシステム、データセンターやそれらを高速広帯域低遅延で相互接続する5G等向けのICTインフラが想定され、これらのインフラに当該低電力消費型AIシステムを適用した実証試験等を通じて、その有効性を示すことが求められる。

また、フィジカル空間としては、プラットフォームでのやりとりに対応した物体の移動等が伴う産業活動プロセスや、労働集約的であり大規模なデータが取得しにくく通常の人工知能の適用が難しい職人的産業等を始めとした多様な分野が想定される。そのような分野において当該低電力消費型AIシステムの優位性が活かせるような、少数の学習データのみしか入手できず、既存の人工知能が適用しにくい分野において、前述の人工知能を用いた低消費電力化技術を確立し、その有効性を実証する。

(3) 到達目標

ア) 脳の情報処理メカニズムの知見を生かし、超低消費電力で作動する認知理解モデル化技術の確立

- ・少ない学習量かつ少ない消費エネルギーで、時間軸を有する連続的に変化する周辺環境等の違いから将来的の事象の予測等を行うヒトの脳の時空間環境認知メカニズムをモデル化するために必要な試験を行うとともに、その他の既存の脳科学の知見を生かし、欠損雑音等のノイズを含む過去の時間軸を有するデータであっても、非決定論的に将来を予測できる認知理解モデルを実

現すること。当該モデルについては、時間軸を有する連続的なデータについて、2021年度時点での既存の人工知能で同種の学習を行う場合に必要とされるデータ量に比べ、そのデータ量が1/100以下程度で実行できることを目標とする。

- ・当該認知理解モデルを用いて、動的に変化するマルチモーダルデータ（例：連続で変化する画像・動画、音声の周波数等）を観測し、リアルタイムに環境を非決定論的に認知・予測する機能を有するソフトウェアを実現すること。
- ・当該認知理解モデルについては、ヒトの脳が認知している時間軸を有する連続的なデータからトレンドを解析した上で、入力するデータを判断し、予測誤差を抑制しながら将来予測を可能とするような、現在の人工知能が有しない先端的な機構をソフトウェアとして実現すること。
- ・説明可能性を有した人工知能を実現するため、時空間環境認知の結果・過程等を確認できるようにすること。
- ・連続的（動的）な入力データを適切な速度で処理することで、上記の動的な将来を含む認知理解や推定誤差修正処理をリアルタイムに可能とすること。

イ) 超低消費エネルギーで動作する脳の高精度な時空間環境認知モデルに基づく、超低消費電力で動作する脳型人工知能ハードウェア技術の確立

- ・当該低電力消費型 AI システムを活用して、その省エネ性能を生かすハードウェア（専用チップの構築以外にメモリ・電力制御系・制御ファームウェア等を含む。）を設計したシステムを実現すること。当該低電力消費型 AI システムについては、2021年度時点での既存の人工知能（機械学習や深層学習等）を用いた場合に比べて、1/1000程度以下の消費電力（概ね1W程度以下）で動作し、また、学習に必要とされるデータ量を1/100以下程度として認知理解を実行できることを目標とする。
- ・当該低電力消費型 AI システムの超低消費電力を生かすため、多様なセンサーやネットワークを接続可能かつ小型機器に搭載可能とすること。具体的には、事業終了時に、人間が容易に持ち運べるサイズ（例えば、名刺程度の大きさ）で作動できるものを実現すること。
- ・人工知能処理における各処理工程（例：設計、学習、最適化、識別等）を対

象とした消費電力の詳細な比較分析が可能な技術を確立し、既存の人工知能技術（DNN、CNN、RNN等）と当該低電力消費型AIシステムの消費電力を比較分析するとともに、代替可能性について実証すること。また、例えば、深層学習の前処理として当該低電力消費型AIシステムを活用することで、各人工知能の長所を生かしつつも、省計算資源化・省電力化につながる方法の実証を行うこと。

(注) DNN : DNN (Deep Neural Network) : 多層に積み重ねたニューラルネットワーク

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

RNN : RNN (Recurrent Neural Network) : 有向閉路を有するニューラルネットワーク

ウ) 超低消費電力型の人工知能システムを用いたサイバー・フィジカル システムの最適化・省電力化技術の確立

- ・当該低電力消費型AIシステムを用いて、5G環境下等でのデータセンター等のサイバーシステムを対象とし、その動作等の最適化を実現するとともに、これらのサイバーシステムの機能を維持しながら省電力化する手法・技術を確立し、その効果について算定すること。また、当該低電力消費型AIシステムが適用可能な範囲、具体的には社会実装可能なポテンシャルやその市場規模についても推計すること。
- ・当該低電力消費型AIシステムを用いて、多様なフィジカルシステム（例：プラットフォームでのやりとりに対応した物体の移動等が伴う産業活動プロセスや、労働集約的産業で大規模データが取得しにくく大量の学習データを必要とするような、既存の人工知能の適用が難しい産業等）を対象として、そのフィジカルシステムの動作等の最適化を実現するため、当該フィジカルシステムの機能を維持しながら省電力化する手法・技術を確立し、その効果について算定すること。また、当該低電力消費型AIシステムが適用可能な範囲、具体的には社会実装可能なポテンシャルやその市場規模についても推計すること。

(注) サイバーシステム、フィジカルシステムいずれにおいても省電力（CO2排出削減）のために追加する当該低電力消費型AIシステムにより増加する消費電力を含めた上で、省電力効果を算定し、省電力効果は実証システムによる実証実験によりその実現性を確認すること。

5. 実施期間

令和3年度から令和5年度までの3年間

6. その他 特記事項

(1) 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・クローズ戦略等を含む）について提案すること。
- ② 実用化については、脳科学を踏まえた人工知能技術関連技術に関するこれまでの内外の成果動向を記載の上、その点を踏まえて事業終了後の早期の実用化を念頭においた実用化目標年度、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て提案すること。
- 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受けると共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導を受けるため、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の有識者等を参画させること。
- ⑤ 本研究開発は総務省施策の一環として取り組むものであることから、総務省が受託者に対して指示する、本研究開発に関する情報及び技術開発の成果の開示等に可能な限り応じること。

(2) 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等、将来の人材育成に向けた啓発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。

(3) 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て、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、総務省及び連携先の環境省においてインターネット等により発信を行うとともに、メディア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。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・環境連携事業の『脳の仕組みに倣った省エネ型の人工知能関連技術の開発・実証事業』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。

(4) その他 特記事項

本研究開発は、環境省との連携事業の一環としてエネルギー対策特別会計エネルギー需給勘定により実施されるものであり、環境省が気候変動対策の政策立案・国際交渉等を実施するにあたって参考となる本研究開発の技術的進展の成果を、必要に応じて環境省へ情報提供すること。

以上