

# 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

実施研究機関：大阪大学、産業技術総合研究所  
研究開発期間：H29年度～R1年度  
研究開発費：H29年1.0億円、H30年0.5億円、R1年0.5億円 計2.0億円  
担当課室名：国際戦略局 技術政策課 研究推進室

## 1. 研究開発概要

### 1. 目的

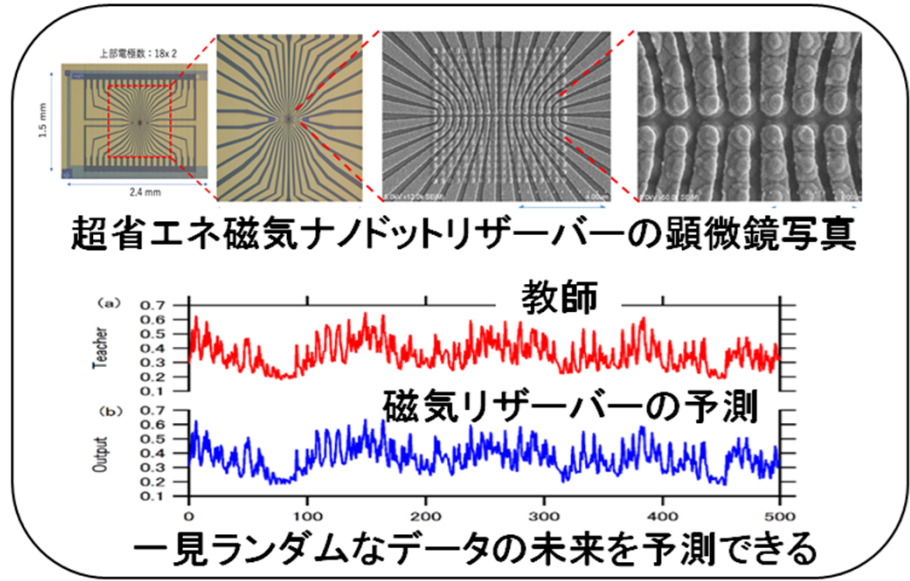
次世代人工知能技術として、脳の認知メカニズムに倣い、少数のデータからでも学習し、柔軟な認知を可能とする「脳型認知分類技術」及び脳の演算処理メカニズムに倣い、超低電力かつスケーラブルな演算処理を可能とする「脳型演算処理技術」の2つを確立することにより、医療・介護、防災・インフラ、生活支援分野等の各分野・業種での人工知能技術の活用の加速化や新産業・ビジネスの創出に貢献し、研究成果に関する国際標準の獲得等による我が国の国際競争力の維持・向上に寄与する。

### 2. 政策的位置付け

「日本再興戦略2016」および「科学技術イノベーション総合戦略2016」において、「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」「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。」とされている。これらのことは「世界最先端IT国家創造宣言」、および、「新たな情報通信技術戦略の在り方 第2次中間答申」においても同様なことが述べられている。

### 3. 目標

- ・脳型演算処理技術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。



## 2. 研究開発成果概要

### ○省エネ性能

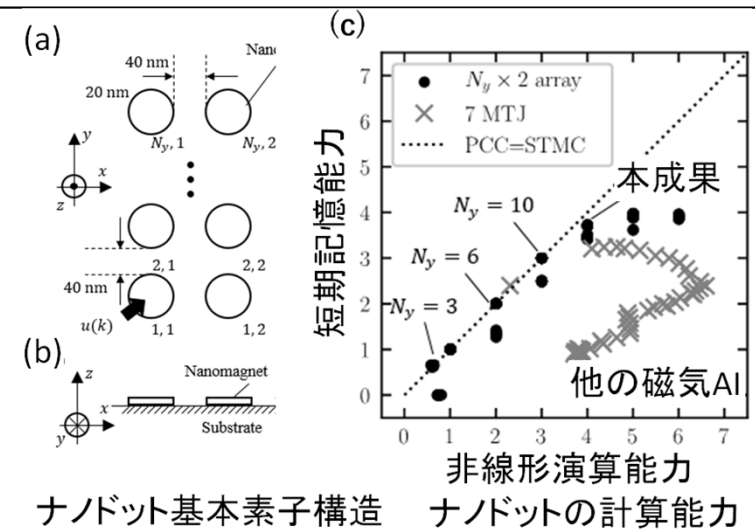
磁気ナノドットリザーバー消費電力は通常の半導体を用いた深層学習などに比べて非線形演算タスクにおいて1/60以下であり極めて高い省エネ性能を示した。

### ○再構成性能

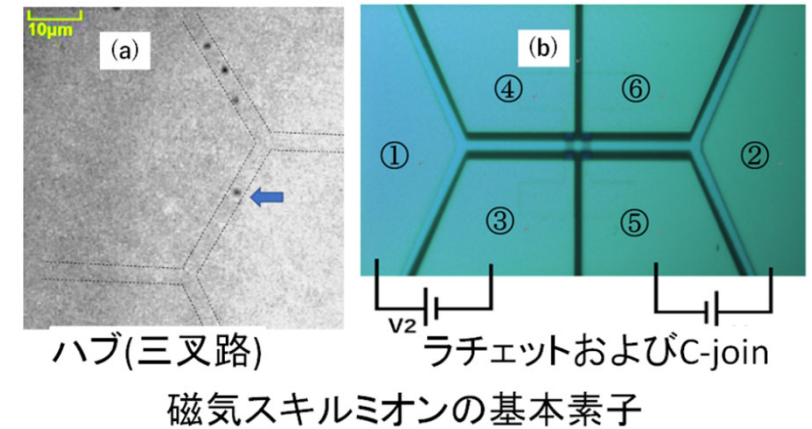
磁気ナノドットリザーバーは均一なドット配列からなる。配列上の電圧印加パターンにより自在に回路の再構成が可能である(右上図)。磁気スキルミオンの回路(右中図)も電圧印加磁気異方性変化を用いることにより自在に再構成できる。

### ○モジュール化と高度なタスクの実行

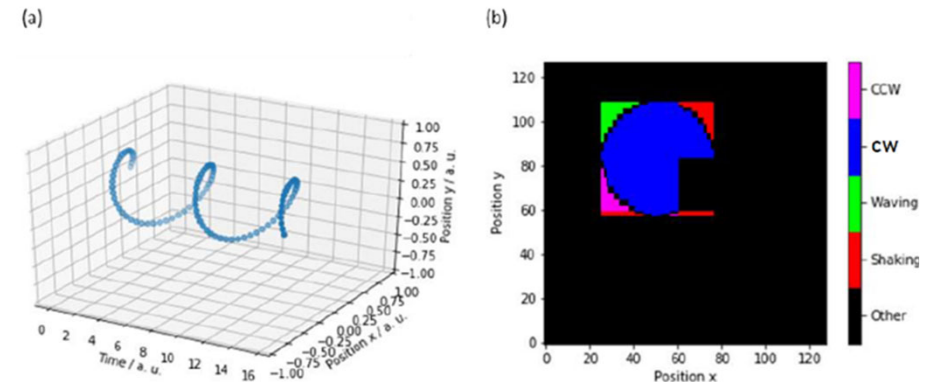
磁気ナノドットリザーバーはモジュールの組み合わせにより自在に高度なタスクを実行できる。前頁の図ではモジュールの組み合わせにより、過去から未来を予想するタスクを行った。右下図には手のジェスチャーなどの運動の分類タスクの結果を示す。



ナノドット基本素子構造 ナノドットの計算能力



ハブ(三叉路) ラチェットおよびC-joint  
磁気スキルミオンの基本素子

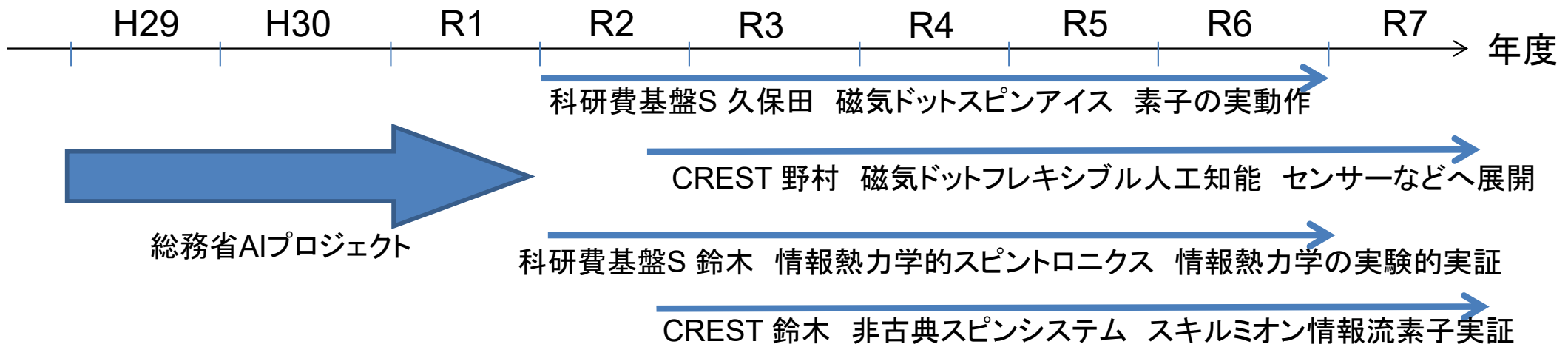


手のジェスチャーによる動点の運動の分類タスク  
右回転、左回転、上下運動、左右運動、停止に分類

### 3. 政策目標の達成状況（経済的・社会的な効果）等

#### <政策目標(アウトカム目標)の達成状況>

研究の終了時に計画したように本研究はもう一度基礎研究に立ち返り、基礎的な問題点から解決していくことが必要であった。そこで、下の線図に示すようにこの研究の終了後主に4つの後継プロジェクトを開始し、基礎的な問題の解決に取り組んでいる。特に鈴木の研究では民間企業(ULVAC株)の参加を得てより実用的な観点から研究を進めている。

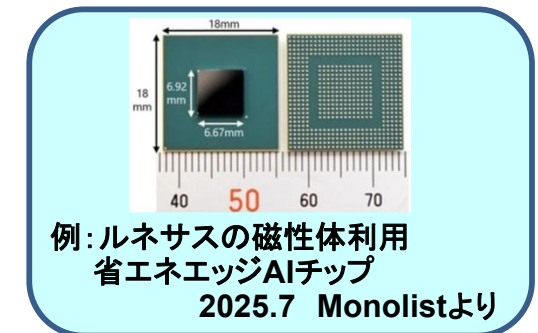


#### <新たな市場の形成、売上げの発生(GDP等増大)、国民生活水準の向上>

本研究開発は基礎的段階にあり市場を生み出すには至っていない。一方で本研究の開始とともに磁気素子が人工知能の低消費電力化に有効であるとの見方が学会・産業界にひろがり磁気メモリを内在したAI専用素子、磁気スキルミオンによる脳型素子の開発が世界的に行われるようになってきている。

#### <知財や国際標準獲得等の推進>

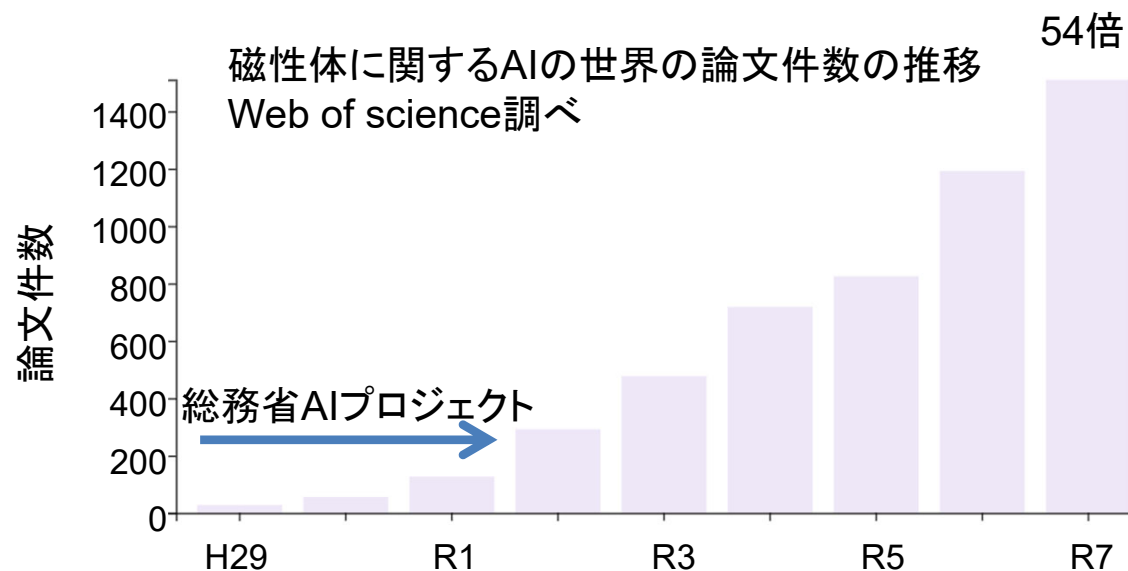
磁気ドットを基本とした磁気リザーバーについては基本特許を取得し保持している。



## 4. 研究開発成果（アウトプット目標）から生み出された科学的・技術的な効果

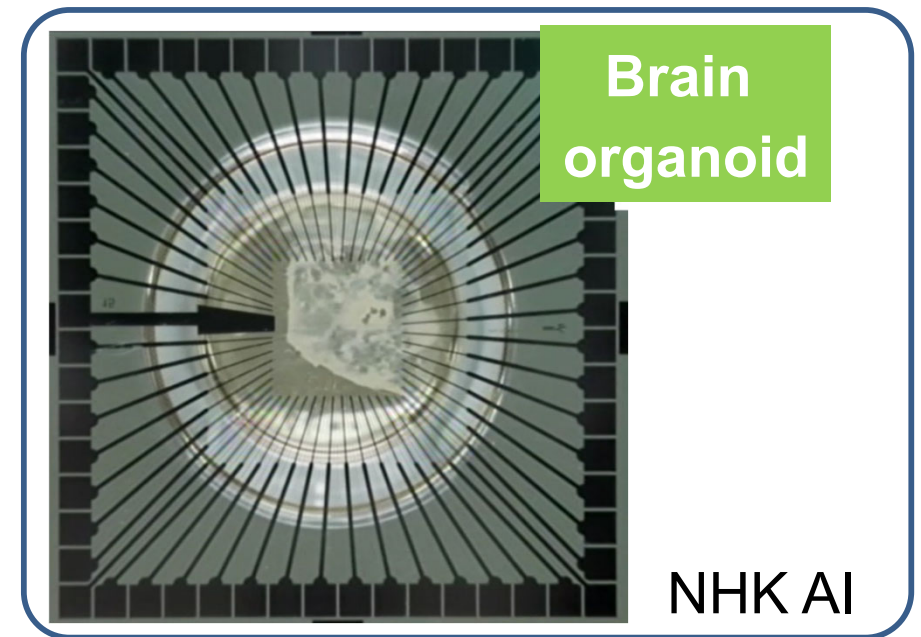
### <新たな科学技術開発の誘引>

- Si-CMOS技術に立脚したAIの発展はエネルギー消費の爆発的な増大をもたらすことについて警鐘を鳴らすことにより、AIにおける省エネルギー化の研究が誘引された。特に磁性体を用いることにより省エネ化が実現できるとの認識が広まっている。右下図から明らかなように本研究はその先駆けとなっており、現在では世界における磁性体に関連した人工知能の論文数は総務省プロジェクトを始めた当初の54倍 (web of science調べ) になっている。
- 提案者は情報熱力学的な観点を人工知能に持ち込むことが重要であることを当初から主張していたが、その考えは徐々に社会に認められるようになった。この結果、提案者自身が「情報熱力学的スピントロニクス」の創成」というテーマで科研費の基盤S研究を行うこととなった。
- また、国内では本プロジェクトの運営委員会構成員であった沙川氏がERATO「情報エネルギー変換プロジェクト」を2023年に発足された。提案者はそのキックオフ会議で招待講演を行っている。



## 5. 副次的な波及効果

- 提案者等は強磁性体をリザーバー計算のノードとして用いる研究をしたが、この結果がインテリジェントメモリー/センサーという概念を生むこととなった。そこで、この研究はJSTのCREST研究として採用され、本プロジェクトの主要メンバーであった野村光准教授が「磁気ドットフレキシブル人工知能」として研究を進めている。この研究では磁性体が歪みセンサーとなり、その情報が磁性体に記憶され、さらに磁性体によって情報処理されることを目指している。
- 本研究で開発したシミュレーターの基本的な枠組みを利用して半導体素子の効果的な排熱のシステムが設計され実用化した。
- 本研究で開発した探針を用いる顕微鏡の制御システムはその後、標準化され各研究機関で用いられている。
- 磁気スキルミオンを用いたAIの研究にはその後、ULVAC株が参加し共同でCREST「非古典スピンシステム」の枠組みの下で研究を行っている。具体的には磁気スキルミオンを用いた情報流素子の実証を行っている。
- 本研究とその後の研究で開発した情報流の解析手法は脳神経の信号解析に有用であるとのことから、情報通信研究機構の研究者と協力し脳オルガノイドの初期発達段階における神経パルスの解析に応用することとなり近く共同研究を開始する。
- 本研究の主要メンバーだった講師1名、助教1名がいずれも准教授に昇進した。



## 6. アウトカム目標の達成に向けた取組計画の達成状況等

### <アウトカム目標の達成に向けた取組計画の達成状況>

- 本研究は事業化には比較的長い道のりが必要であることが予想されていた。そこで、プロジェクト終了後は基礎研究に立ち返りテーマを底上げすることを計画していた。実際にプロジェクト終了後は4つのプロジェクトが立ち上がり基礎および応用基礎の立場から研究を推進した。
- プロジェクト内ではビジネスプロデューサーの進言などにより具体的な目標値(例えば省エネ達成度)について真剣に取り組むことができたことは有意義であった。このことはその後の研究にも大きく影響した。
- また、特許を取得できたことについても有意義であった。

### <周知広報活動の実績>

- 成果については論文の執筆に努めている。しかし、私たちの目指していることは既存研究とかなり異なっているため採択を得ることには苦勞している。そこで、arXivなども利用して積極的に情報発信を行っている。
- 総務省のプロジェクト中およびその後、英語で「Reservoir computing (Elsevier)」と日本語で「スピントロニクス(共立出版)」という教科書を出版し成果の普及に努めている。後者は近く韓国語の翻訳版が出る予定である。
- 情報熱力学に関しては鈴木が各大学に呼ばれて講義をしている総務省のプロジェクト後に名古屋大学、九州大学、福岡大学、兵庫県立大学、福井大学、東北大学、パリ大学(仏国)、DGIST(韓国)、高麗大学(韓国)で講義を行った。
- また、プロジェクト終了後に韓国との間で「スキルミオンworkshop」を立ち上げ、毎年開催している。

### <その他の特記事項に係る履行状況>(研究開発終了後も行うべきものについて)

- 研究にあたっては数値目標を掲げそれぞれ達成した。研究の中で見出した新しい問題(例えば正確な動作のためには低温が必要であること)については、終了後の課題として数値目標を掲げ終了後に目標を達成した。
- プロジェクト中は有識者による委員会を組織して助言を得、定期的に公開の発表会を行った。

## 7. 政策へのフィードバック

### <国家プロジェクトとしての妥当性、プロジェクト設定の妥当性>

- 政策的位置づけのうち、「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」、「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」という観点からは材料とデバイスに強い日本の特徴を生かしたAIハードウェアの研究が行え、世界をリードできたと自負している。
- その後は現在では日本が強い、装置メーカーと組んで研究を行うこともでき、テーマ設定も含め国家プロジェクトとして妥当だったと考えている。

### <プロジェクトの企画立案、実施支援、成果展開への取組み等に関する今後の政策へのフィードバック>

- Si-CMOS以外でAIハードウェアを創ろうとする試みは当時としてはとても先進的であったため、他の研究機関による成功例、失敗例を参考にすることもできず、自らが成功例と失敗例を作ることとなった。その中で、磁性体ドットリザバー計算は熱に弱く、室温での動作は当初の設計では不可能であることがわかったことは計画の失敗ともいえるが、プロジェクト後も継続で他のプロジェクトを行うことにより現在では室温動作が可能となっている。しかし、その性能は現在では実用の域に達しておらず更なる研究開発が必要である。
- 本プロジェクトの予算は2年目から半減したが、一直線に実用化できない状況だったことを考えると予算の半減は妥当な判断であったと考えられる。今後もこのようなフレキシブルなプロジェクト運営を期待したい。