

令和元年5月11日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00340

研究課題名(和文) 脳・身体総合体コンピューティングのための基礎研究

研究課題名(英文) Basic Research for Brain/Body Whole Organism Computing

研究代表者

堀尾 喜彦 (Horio, Yoshihiko)

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号：60199544

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：現在のAIとは対極を成す、より脳に近い脳型AIの実現を目的とし、意識、自己、身体性、注意など、脳独自の情報処理様式を、デバイスのダイナミクスを直接的に使うことで創り出す、ブレインモルフィックコンピューティングの枠組みを提案した。特に、身体性を考慮した「参照自己」を提案した。参照自己には、自身の状態の頑強な表象(安定性・一貫性)と、未知の変化に対する鋭敏な反応(鋭敏性・多様性)の2つの相反する機能が求められる。これらを同時に実現するためカオスニューラルネットワークリザーバーを提案し、その機能を確認した。さらに、基本素子としてスピン軌道トルクデバイスによるニューロンとシナプスを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、身体性と自己を兼ね備えた新しい脳型コンピュータの実現、特に今後の超高齢化社会あるいはSociety 5.0の実装に不可欠な、使う人に常に寄り添い、その人のことを学習・理解して、その人独自に必要なサービスを、必要な時に、超小型・超低消費電力なデバイスにより提供してくれる、現在のAIとは原理的に全く異なる脳型AI、特に脳型Edge AIの実現に大きく貢献するものである。これと同時に、本研究の構成論的研究成果は、脳に特異的な情報処理様式、特に意識過程や自己の解明などに繋がると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In order to create a novel brain-type AI, which is antithetic to current AI, I proposed a brainmorphic computing paradigm. The brain-specific functions such as consciousness, self, and attention will be emerged in this paradigm through direct use of device and high-dimensional complex network dynamics. In particular, I proposed "reference-self" by considering embodiment. The reference-self should robustly maintain and represent its own state (stability and consistency), but simultaneously, sensitively respond to unknown changes (sensitivity and variety). To realize these contradictive functions, I proposed a chaotic neural network reservoir, and confirmed its functionality through chaotic time-series predictions. In addition, we proposed novel spin orbit-torque neuron and synaptic devices for basic constructing elements of hardware systems.

研究分野：非線形複雑系およびブレインモルフィックコンピューティング集積ハードウェア

キーワード：脳型コンピュータ ブレインモルフィックコンピューティング ニューラルネットワーク 自己 身体性 非ノイマン型コンピュータ 意識 高次元複雑ダイナミクス

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

近年、脳全体をシミュレートあるいは脳型コンピュータとしてハードウェア実装しようとする第3次ニューロブームと、深層学習を中心としたニューラルネットワークベースのAI（人工知能）による第3次AIブームが重なり、世界的なAI開発の流れが続いている。しかし、これらで用いられている脳型アーキテクチャは依然として形式的であり、A) 脳型情報表現様式や記憶一体型処理様式の未実装、B) 創発・統合などのダイナミクスからの観点の欠如、C) 身体性や、環境との相互作用の欠如、D) 情動・感情や意識プロセスなどの欠如、E) 大域的制御機構の欠如など、非ノイマン型計算機により人間の脳に迫るためのブレークスルーには至っていない。

### 2. 研究の目的

背景で述べた状況を鑑み、さらに、これまでの研究代表者の成果、例えば、「ダイナミクスによる計算」、「数理モデルに基づくバラツキ許容・活用設計論」、「ロバスト性・揺らぎ活用設計論」、「意識・無意識ハイブリッド計算」などを最大限に活用して、現状の脳型コンピュータ開発の問題点を克服するため、「脳・身体総合体(Whole Organism)コンピューティング」の枠組みを提案し、これを小型・低消費電力な集積回路を核として実装することを目的とする。本研究では、特に、身体性による他者や環境との相互作用によって生ずる自己の実装に関わる参照自己システムの構築を目指す。

### 3. 研究の方法

まず、脳・身体総合体コンピューティングの枠組みを提案する。次に、この枠組みを実装するために必要な以下の要素の実現について検討する。

- ア) 自己の状態に対応する動的に安定なニューラルパターンの構築と維持
  - イ) 対象（ユーザ、環境など）に対応する特異的なニューラルパターンの鋭敏な生成
  - ウ) ア) とイ) の2つの相互作用によるア) の状態変化と学習（情動や中核意識の生成）
  - エ) 身体性、及び、対象とのインタラクションのための機構
  - オ) 意識・無意識プロセスとそれらの相互作用による高次機能
  - カ) マクロな状態に対する学習則による記憶の生成と、大域的制御機構による処理の修飾
- 本研究では、特に上記ア) からウ) を実現するサブシステムを「参照自己システム」と定義し、この参照自己の集積回路実装のための検討を行う。

### 4. 研究成果

#### (1)ブレインモルフィックコンピューティングパラダイムの提案

脳・身体総合体コンピューティングシステムをハードウェアとして実装するための基本的な枠組みとして、デバイスの物理的ダイナミクスを直接的に利用して、脳に特有な構造や情報処理様式を、高次元複雑ネットワーク全体のプロセスとして構築する、ブレインモルフィックコンピューティングの枠組みを提案した。これにより、これまでのアルゴリズムベースで、デジタルコンピュータを中心に実装されてきたAIでは不可能であった、例えば意識などの脳特有の機能の物理的・直接的実現が期待できる。

#### (2)脳・身体総合体コンピューティングシステムの構成と、サブシステム構成の提案

ブレインモルフィックコンピューティングの枠組みに従い、特に身体性を取り込むことによる新しい脳型コンピュータに向けて、脳・身体総合体コンピューティングシステムとその基本的なアーキテクチャを提案した（図1）。さらにこれを構成する3つのサブシステム、(A)参照自己システム、(B)意識・無意識ハイブリッドシステム、(C)身体システムの具体的な構成方法を提案した。

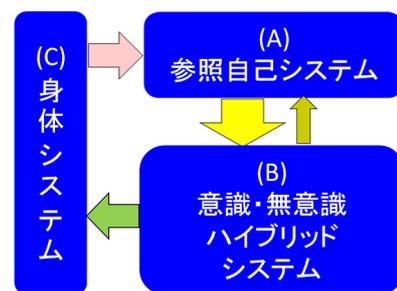


図1 脳身体総合体システムの構成

#### (3)参照自己システム構成とその実装のためのカオスニューラルネットワークリザーバーの提案

①基準内部状態ニューラルネットワーク(NN)、②対象表象 NN、③状態変化検出 NN の3つから成る、参照自己システムの構成を提案した（図2）。参照自己では、自身の状態のロバストで動的な表象（安定性・一貫性）と、未知の変化に対しての鋭敏でバリエーション豊かな反応（鋭敏性・多様性）の2つの相反する機能が求められる。そこで、これらを同時に実現するためカオスニューラルネットワークリザーバー（図3）を提案し、その機能をカオス時系列予測により確認した。これは当初計画には無い新規の成果であり、これにより、従来のリザーバー計算ではできなかったネットワーク構造による echo state property を維持しつつ、高次元カオスによる軌道不安定性を導入することが可能となった。この成果は、多様性と一貫性との両立が必要な複雑システムの構築や複雑時系列処理への応用が期待できる。



- ⑥ W. A. Borders, H. Akima, S. Fukami, S. Moriya, S. Kurihara, A. Kurenkov, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno, “An artificial neural network with an analogue spin-orbit torque device,” IEEE International Magnetism Conference, INTERMAG Europe, 2017.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.scis.riec.tohoku.ac.jp/index.html>

プレスリリース

「ニューロンとシナプスの動作を再現する変幻自在なスピントロニクス素子を開発 ～脳を模した革新的情報処理への応用に期待～」 2019 年 4 月 17 日

<http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2019/04/press-20190415-AdvMater.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者

該当なし

(2) 研究協力者

該当なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。