

様 式 F - 7 - 1

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）実施状況報告書（研究実施状況報告書）（令和２年度）

			機関番号	1 4 6 0 3
所属研究機関名称 奈良先端科学技術大学院大学				
研究 代表者	部局	先端科学技術研究科		
	職	客員教授		
	氏名	木村 睦		

1．研究種目名

基盤研究(C)(一般)

2．課題番号

19K11876

3．研究課題名

単一アナログデバイスと局所的学習則を用いるリアルニューロモーフィックスシステム

4．補助事業期間

令和元年度～令和３年度

5．研究実績の概要

人工知能は、未来の社会の中心となる技術であるが、巨大なサイズと膨大な電力が問題である。ニューロモーフィックスシステムは、脳の模倣で、コンパクト化・低消費電力化が期待できる。そこで我々は、超コンパクト・超低パワーの『リアルニューロモーフィックスシステム』の研究を、アーキテクチャ／マテリアル／アルゴリズムの観点から進めている。本研究では、上記の新技術を導入した動作を、シミュレーション・実機で確認し、実用的かつ人間の脳と同様な超コンパクト・パワーの汎用人工知能の可能性を検討する。

現在まで、シミュレーションでは、抵抗変化素子・メモリスタ・さらにメモキャパシタのモデリングを行い、局所学習則とともに組み込む論理シミュレーションを行った。ディープ・畳み込み・さらに新型ニューラルネットを構築し、連想記憶・画像認識の例として、MNIST・CIFAR-10の文字・画像のデータセットで、十分な認識成功率を達成した。一方実機では、In-Ga-Zn-O(IGZO)・Ga-Sn-O(GTO)で抵抗変化素子・メモリスタの作製に成功し、さらに、強誘電体材料のBi-La-Ti-O(BLT)・Pb-Zr-Ti-O(PZT)でメモキャパシタの作製に成功し、クロスポイントチップやLSI積層チップなどを用いて動作確認した。

今後は、シミュレーションでは、強誘電体キャパシタのモデリング・論理シミュレーションを継続する。さらに、回路シミュレーションで、動的挙動も含み正確に動作解析する。スパイクネットを想定のパルス遅延回路・チャージポンプ回路も検討する。一方、実機では、クロスポイントチップやLSI積層チップを用いる動作確認も継続する。最後に、大規模化では、大規模の1兆素子程度のニューロモーフィックスシステムを想定し、超コンパクト・低パワーの人工知能の実現にむけての可能性も検討し、汎用人工知能としての動作を評価する。

6．キーワード

アナログデバイス 局所的学習則 ニューロモーフィックスシステム スパイクニューラルネットワーク メモキャパシタ

7．現在までの進捗状況

区分 （２）おおむね順調に進展している。

理由

まず、シミュレーションでは、単一アナログデバイスである抵抗変化素子・メモリスタ・さらにメモキャパシタのモデリングを行った。印加電圧・電流の履歴にコンダクタンス・キャパシタンスが依存するモデルである。そして、抵抗変化素子・メモリスタ・さらにメモリスタのモデルを局所学習則とともに組み込んだ論理シミュレーションを行った。中規模のニューロモーフィックスシステムを想定し、ディープニューラルネット・畳み込みニューラルネット・新型オートエンコーダ・パーセプトロンなどのネットワーク構成を構築した。連想記憶・画像認識の例として、MNIST・CIFAR-10の文字・画像のデータセットを用いて、たとえば90%以上という十分な認識成功率を達成した。これらの結果については、既に様々な研究発表を行っている。

つぎに、実機では、アモルファス金属酸化物のIGZO・GTO・さらに強誘電体材料のBLT・PZT（いずれも我々が研究している高機能材料）で、組成・デバイス構造・製造プロセスなどの最適化で抵抗変化特性・遷移特性・さらに強誘電体特性などを制御し、抵抗変化素子・メモリスタ・さらにメモキャパシタとして活用できるものの作製に成功した。シナプス素子だけ個別基板に集積化したクロスポイントチップや、ニューロン素子をLSIに集積化しそのうえにシナプス素子を成膜したLSI積層チップなどを用いて、実機を試作して動作を確認した。現在は、3x3画素の小サイズの文字認識であるが、基本的な動作確認に成功したといえる。これらの結果についても、既に様々な研究発表を行っている。また、さらに新たな強誘電体材料Hf-Zr-O(HZO)で、やはり組成・デバイス構造・製造プロセスなどの最適化で強誘電性などを制御し、強誘電体キャパシタとして活用できるものの作製に成功した。シナプス素子の接続強度の初期値・変化速度の実際の値についても評価した。

3 版

8. 今後の研究の推進方策

まず、シミュレーションでは、単一アナログデバイスの強誘電体キャパシタのモデリングを継続する。印加電圧の履歴に分極・キャパスタンスが依存するモデルである。そして、既に完成している抵抗変化素子・メモリスタ・さらに強誘電体メモリキャパシタのモデルを局所学習則とともに組み込む論理シミュレーションを継続する。より大規模のニューロモーフィックシステムを想定し、ディープ・畳み込み・リザーバニューラルネット・新型オートエンコーダ・パーセプトロンなどのネットワーク構成を構築する。最適化問題(巡回セールスマン問題など)などを連想メモリに対応させた問題に対する正常な動作確認を継続する。中規模・より大規模のニューロモーフィックシステムを想定し、ディープ・畳み込み・リザーバニューラルネット・新型オートエンコーダ・パーセプトロンなどのネットワーク構成を構築する。やはり、連想記憶・画像認識・最適化問題などに対する正常な動作を確認する。さらに、回路シミュレーションで、動的挙動も含むニューロモーフィックシステムの正確な動作を解析することを継続する。スパイクングニューラルネットワークのためのパルス遅延型ニューロン回路・チャージポンプ型シナプス回路も検討する。

つぎに、実機では、H2Oで、シナプス素子だけ個別基板に集積化したクロスポイントチップや、ニューロン素子をLSIに集積化しそのうえにシナプス素子を成膜したLSI積層チップなどを用いて、実機を試作して動作を確認する。

最後に、大規模化では、大規模の1兆素子程度のニューロモーフィックシステムを想定し、超コンパクト・低パワーの人工知能の実現にむけての可能性の検討を継続する。ここでは、まずは上記の連想記憶・画像認識・最適化問題などと同じシステム構成のニューロモーフィックシステムで実現できるかを確認することで、汎用人工知能としての動作を評価する。

9. 次年度使用が生じた理由と使用計画

主に、コロナ禍のため、予定していた旅費を使用しなかったため、残額として次年度使用額が生じた。次年度にコロナ禍が収束していたら、今年度に行く予定であった出張などで旅費として使用する。コロナ禍が収束していなければ、その出張で目的としていた研究発表や情報交換などで得られるべきことを補うような、たとえば紙面発表や文献調査などに使用する予定である。

10. 研究発表（令和2年度の研究成果）

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kimura Mutsumi, Sumida Ryo, Kurasaki Ayata, Imai Takahito, Takishita Yuta, Nakashima Yasuhiko	4. 巻 11
2. 論文標題 Amorphous metal oxide semiconductor thin film, analog memristor, and autonomous local learning for neuromorphic systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 580
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-79806-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Imanishi Kota, Matsuda Tokiyoshi, Kimura Mutsumi	4. 巻 41
2. 論文標題 Analysis of Carrier Mobility in Amorphous Metal-Oxide Semiconductor Thin-Film Transistor using Hall Effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Electron Device Letters	6. 最初と最後の頁 1025 ~ 1028
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LED.2020.2993268	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikeda Hiroya, Yamane Hiroki, Takishita Yuta, Kimura Mutsumi, Nakashima Yasuhiko	4. 巻 11
2. 論文標題 Influence of characteristic variation of oxide semiconductor and comparison of the activation function in neuromorphic hardware	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 232 ~ 252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.11.232	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Mutsumi Kimura, Yuta Takishita, Ryugo Okamoto, and Tokiyoshi Matsuda
2. 発表標題 GTO-TFT deposited using Mist-CVD
3. 学会等名 ICDT 2021, May 2021, to be presented (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村 睦, 中島 康彦
2. 発表標題 薄膜積層集積デバイスと局所自律学習によるニューロモーフィックシステム
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会 シンポジウム 「AI/IoT時代を支えるポストムーアパラダイムへの挑戦」, 18p-Z06-7, 100000001-232, pp. 2021年3月 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村 睦
2. 発表標題 薄膜デバイスを用いたニューロモーフィックシステム - 有機デバイスの可能性 -
3. 学会等名 高分子学会 有機エレクトロニクス研究会, 2020年12月 (招待講演)
4. 発表年 2020年

3 版

1. 発表者名 Mutsumi Kimura, Tokiyoshi Matsuda, Sumio Sugisaki, Ayata Kurasaki, and Isao Horiuchi
2. 発表標題 GTO TFT, Memristor, Thermoelectric Device, Neuromorphic System, etc.
3. 学会等名 ICDT 2020, Oct. 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuta Takishita, Mutsumi Kimura, and Yasuhiko Nakashima
2. 発表標題 Image Recognition Using Oxide Semiconductor Crossbar Memristors with Implementation of Slit Detection and Local Autonomous Learning
3. 学会等名 IDW '20, pp. 973-976, Dec. 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuta Takishita, Mutsumi Kimura, and Yasuhiko Nakashima
2. 発表標題 Image Recognition by Implementation of Visual Cortex and Xbar Memristor
3. 学会等名 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, NOLTA 2020, Nov. 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴山 友輝, 大西 祐輝, 山川 大樹, 山根 弘樹, 中島 康彦, 木村 睦
2. 発表標題 ニューロモルフィックデバイス用Ga-Sn-O 薄膜シナプス
3. 学会等名 薄膜材料デバイス研究会 第17回研究集会, pp. 129-131, 2020年11月
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉崎 彩太, 橋本 快人, 角田 涼, 赤根 詩穂里, 牧岡 大輔, 杉崎 澄生, 木村 睦
2. 発表標題 Ga-Sn-O 薄膜を用いた二層構造ReRAM の最適化
3. 学会等名 薄膜材料デバイス研究会 第17回研究集会, pp. 126-128, 2020年11月
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉崎 澄生, 倉崎 彩太, 荒牧 達也, 松田 時宜, 木村 睦
2. 発表標題 ミスト CVD 法を用いた $Gax-Sn_{1-x}O/Ga-Ox$ 薄膜デバイスのメモリスト特性
3. 学会等名 薄膜材料デバイス研究会 第17回研究集会, pp. 59-62, 2020年11月
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Shibayama, Yuki Ohnishi, Daiki Yamakawa, Hiroki Yamane, Yasuhiko Nakashima, and Mutsumi Kimura
2. 発表標題 Ga-Sn-O Thin Film Synapse for Neuromorphic Device
3. 学会等名 AM-FPD '20, P-3, Sep. 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Thi Diem Tran, Mutsumi Kimura, and Yasuhiko Nakashima
2. 発表標題 Primary Visual Cortex inspired Feature Extraction Hardware Model
3. 学会等名 SigTelCom 2020, Aug. 2020, to be published (国際学会)
4. 発表年 2020年

3 版

1. 発表者名 赤根 詩穂里, 堀内 功, 木村 睦
2. 発表標題 Cu ₂ GeTe ₃ を用いた相変化メモリ
3. 学会等名 電子情報通信学会, EID2020-13, pp. 50-53, 2020年12月
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉崎 彩太, 橋本 快斗, 角田 涼, 赤根 詩穂里, 牧岡 大輔, 杉崎 澄生, 木村 睦
2. 発表標題 Ga-Sn-O薄膜を用いた二層構造ReRAMの最適化
3. 学会等名 電子情報通信学会, EID2020-12, pp. 46-49, 2020年12月
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大西 祐輝, 柴山 友輝, 山川 大樹, 池田 裕哉, 中島 康彦, 木村 睦
2. 発表標題 IGZO薄膜シナプスを用いた脳型システム
3. 学会等名 電子情報通信学会, EID2020-7, pp. 25-28, 2020年12月
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片桐 徹也, 山川 大樹, 谷内田 健太, 森垣 和樹, 木村 睦
2. 発表標題 STDP学習側を用いた酸化物半導体薄膜シナプス素子の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会, EID2020-6, pp. 21-24, 2020年12月
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石崎 勇真, 梅村 浩輝, 松川 大毅, 木村 睦, 徳光 永輔, 羽賀 健一, 土井 利浩
2. 発表標題 ニューラルネットワーク用強誘電体薄膜の誘電特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会, EID2020-5, pp. 17-20, 2020年12月
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩城 江津子, 津野 拓海, 木村 睦
2. 発表標題 IGZO薄膜を利用したシナプス素子の積層クロスポイントメモリ
3. 学会等名 電子情報通信学会, EID2020-4, pp. 13-16, 2020年12月
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 角田 涼, 倉崎 彩太, 木村 睦
2. 発表標題 アモルファス酸化物半導体メモリスタの特性測定自動化とその効果
3. 学会等名 電子情報通信学会, EID2020-1, pp. 1-4, 2020年12月
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村 睦, 中島 康彦
2. 発表標題 局所自律学習則を用いるリアルニューロモフィックシステム - 局所自律学習則のバックプロパゲーションへの応用 -
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会, 9p-Z28-17, pp. 19-030, 2020年9月
4. 発表年 2020年

3 版

〔図書〕 計0件

1 1 . 研究成果による産業財産権の出願・取得状況

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 制御装置	発明者 中島，木村，張	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-27859	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ニューラルネットワーク	発明者 木村，小川，宮前	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-197991	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ニューロモーフィック装置及びニューロモーフィックシステム	発明者 木村，中島	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-183082	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 曖昧パターンマッチングのための回路構成方法	発明者 中島，木村，張	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-091392	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

1 2 . 科研費を使用して開催した国際研究集会

計0件

1 3 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

-

1 4 . 備考

-