

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：17104
研究種目：挑戦的研究（萌芽）
研究期間：2020～2021
課題番号：20K21819
研究課題名（和文）次世代人工知能のための海馬機能の集積回路化に向けたナノ構造メモリ素子・回路の研究

研究課題名（英文）Nanostructure memory devices and circuits toward VLSI implementation of hippocampus functions for next-generation artificial intelligence

研究代表者
森江 隆（Morie, Takashi）
九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授

研究者番号：20294530
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：現在の人工知能（AI）の機能を補完して、個人の経験や記憶をサポートする次世代の脳型AIを実現するために、ナノ構造メモリ素子の製造法を開発し、海馬機能のモデル化とそれを実装する集積回路を提案した。ナノ構造メモリ素子については、銀ナノ粒子を用いた新たなアナログメモリ素子を開発し、既存AIや脳型モデルに適用可能であることを示した。海馬機能については、イベントやオブジェクトと結合された場所細胞ネットワークの集積回路実装法を提案し、長期記憶を組み合わせた海馬モデルを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
近年のAIの普及に伴い、それを実行するハードウェアには計算能力と演算効率の一層の向上が期待され、デジタル回路中でアナログ的動作を利用する集積回路方式が盛んに研究されている。また、脳の仕組みをより模倣した次世代AIも期待されている。本研究は、既存のCMOS集積回路では達成できないナノメートルサイズの新規アナログメモリ素子の可能性を示すと共に、そのような素子を有効に利用する脳型演算モデルを提案している。これにより高効率で低消費電力動作を可能とする脳型AIハードウェアが実現できれば、家庭用・介護用サービスロボットなどに適用して、幅広い分野で人々の生活の質を向上させることが可能になる。

研究成果の概要（英文）：To complete the functions of current artificial intelligence (AI) and to realize next-generation brain-like AI for supporting personal experience and memory, fabrication technology of nanostructure memory devices was developed, and modeling and VLSI implementation of hippocampus functions were developed. We developed a new analog memory device using silver nano particles, and showed that it can be applied to current AI and brain-like models. As for hippocampus functions, we proposed VLSI implementation of place cell networks combined with events and/or objects, and also proposed a hippocampus model related with long-term memory.

研究分野：脳型集積システム

キーワード：人工知能ハードウェア アナログメモリ素子 海馬

1. 研究開始当初の背景

近年の人工知能(AI)の実用化に伴い、計算能力と演算効率の一層の向上が期待されている。また、脳の仕組みをより忠実に模倣した次世代 AI の可能性も期待されている。一方で、集積回路の指数関数的な発展を示すいわゆるムーアの法則の終焉に伴い、既存のデジタル CMOS 集積回路技術だけでは AI ハードウェアの飛躍的な性能向上が望めなくなっている。そこで、デジタル回路の中でアナログ的な動作を有効利用した、高効率 AI 集積回路の設計手法が注目されている。この手法をさらに発展させるためには、ナノメートルサイズの不揮発性アナログメモリ素子が必要であり、それに適した次世代 AI 処理モデルの開発も必要とされている。

2. 研究の目的

現行 AI または脳型モデルで主要な演算となっている積和演算を、研究代表者が考案した時間領域アナログ方式で効率的に実行するために、シナプス結合荷重を保持する新たなアナログ記憶素子として、究極的な微細化・高効率化を可能とする銀ナノ粒子を用いたアナログ記憶素子を開発する。さらに、既存 AI を補完する脳型処理モデルとして、海馬の機能を模倣した処理モデルとハードウェアの構成法を提案する。

3. 研究の方法

(1) 銀/硫化銀シェル構造でのアナログメモリ機能の実現

極低消費エネルギー演算実現の条件は、重みを記憶するアナログ抵抗メモリ素子の抵抗値が極めて高い ($> 1G$) ことと、電流の逆流防止機能(整流機能)を有することである。これを実現する材料・素子として銀/硫化銀シェル構造に着目した。これをアレイ構造にすることで、電圧を印加した方向に、逆流防止機能を有する不揮発な高抵抗導電経路が形成される。この作製法を検討し、抵抗値や制御法を最適化するとともに、CMOS 集積回路との結合によりその有効性を検証する

(2) アナログメモリ素子を適用した CMOS 集積回路構成と海馬モデルへの応用検討

アナログメモリ素子特性を想定して、場所情報とイベント情報を統合して符号化・記憶・処理する海馬の 3 次元メモリアーキテクチャを考案し、演算精度と消費エネルギーを回路シミュレーションで検証するとともに、この方式の有効性を回路シミュレーションで検証する。

4. 研究成果

(1) 銀/硫化銀シェル構造でのアナログメモリ機能の実現

高抵抗性 ($> 1G$) 可塑性素子の供給を目指し、材料・素子として銀/硫化銀シェル構造の合成経路を確立した。また、得られた微粒子を有電極基板上に配置し、電気デバイスを作製した。銀/硫化銀シェル構造ナノ粒子 (Ag/Ag_2S) の配列時の電気抵抗は、粒子保護膜として存在するリガンド分子の長さなどに起因するトンネル抵抗に起因する。よって、保護膜分子を通常のだデカンチオールから分

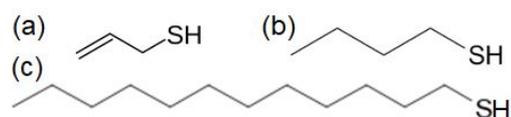


図 1 本課題に用いたチオール化合物(a) アリルメルカプタン, (b) ブタンチオール, (c) ドデカンチオール

極性や分子長の異なるチオール化合物であるアリルメルカプタン, ブタンチオールに変更し、プラスト法 [1] をもとに合成条件を検討した。電極を配した SiO_2 基板上に得られた微粒子を配置し、電気デバイスとした。デバイスに安定的に高抵抗値を再現するデバイスに用いた。その結果、アリルメルカプタンを用いたデバイスが最も安定的に電気デバイス(以下 Ag/Ag_2S デバイスと呼ぶ)として用いることができた。以下の項目で示す実験結果はすべてアリルメルカプタンを用いて合成した Ag/Ag_2S ナノ粒子を用いて得られたものである。

参考文献: [1] M. Brust et al., J. Chem. Soc. Chem. Commun. 801 (1994).

得られた Ag/Ag_2S デバイスと遅延システムを組み合わせ用いて、リザーブ演算 (RC) システムを構築した。 Ag/Ag_2S デバイスを用いて、時間遅延 RC の研究を行った。実験システムおよび代表的な結果を図 2 に示す。

波形生成タスクおよび Nonlinear autoregressive moving average (NARMA) タスクを用いて、作製した Ag/Ag_2S デバイスおよび時間遅延型 RC システムの性能評価を行い、さらに音声分類タスクへ応用した。図 2 (b), (c) に、正弦波を入力信号とした際の Ag/Ag_2S デバイスからの 1 ループ目および 20 ループ目の出力信号の FFT 変換結果を示す。 Ag/Ag_2S デバイスからの出力信号において、高次高調波が確認された。また、高次高調波の振幅強度の比率は、

ループごとに変化しており、粒子間のフィラメント成長で出力信号が変化していることが示唆される。

Ag/Ag₂S デバイスを用いて短期シナプス可塑性、長期シナプス可塑性を実現した。Ag/Ag₂S デバイスは、電圧掃引時に揮発性の抵抗性スイッチング挙動を示した。刺激パルス(5V, 0.5秒)印加後、読み出し電圧(0.1V, 5秒)を印加すると、デバイスのコンダクタンスの急激な上昇とその後の自然緩和が観察された。

さらに、このデバイスの短期シナプス可塑性(STSP)が実証された。2つの印加パルス間の時間間隔を短くすることで、2つ目のパルスのコンダクタンスが増加した。さらに、100パルスの繰り返し刺激によって長期シナプス可塑性(LTSP)に変化し、生体シナプスにおけるシナプス特性の再現が示唆された。

シナプスのダイナミクスは、デバイス内の Ag⁺ の動きによって実現され、Ag フィラメントの伸長と収縮を引き起こすことができる。単パルス刺激ではフィラメントが完全に形成されず、パルス印加直後からコンダクタンスが自発的に減衰した。一方 LTSP では、パルスを繰り返すことでフィラメントの形成を促進し、最長約 40 分と今まで他の材料系では実現できなかった長時間にわたる高いコンダクタンス状態の維持に成功した。この結果により、海馬機能を実現する脳型処理モデルの実装などへの応用が期待される。

(2) アナログメモリ素子を適用した CMOS 集積回路構成と海馬モデルへの応用検討

エピソード記憶を構成するイベントとそれが起こった場所を関連付けて記憶する海馬の機能を模倣したネットワーク構成とその回路アーキテクチャを提案した。図 4(a)に示すように、エージェントの現在位置(場所)について曖昧さを持たせるために、対応する神経細胞(場所細胞)ネットワークにおいて、現在地に対応する細胞とその周辺でガウス関数状の発火頻度を生成する。それによって、図 4(b)

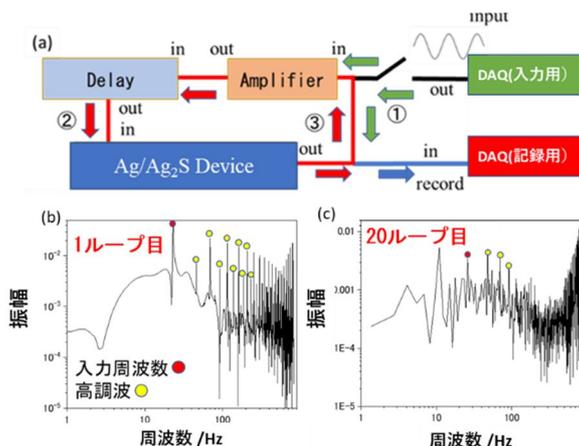


図 2 (a)時間遅延型 RC の測定回路。1 ループ分のみ系に信号印可しスイッチ切断。遅延データをデバイスに印加。増幅器で電圧を戻して繰り返し (b)1 ループ目の出力信号の FFT 解析データ (c)20 ループ目の出力信号の FFT 解析データ。

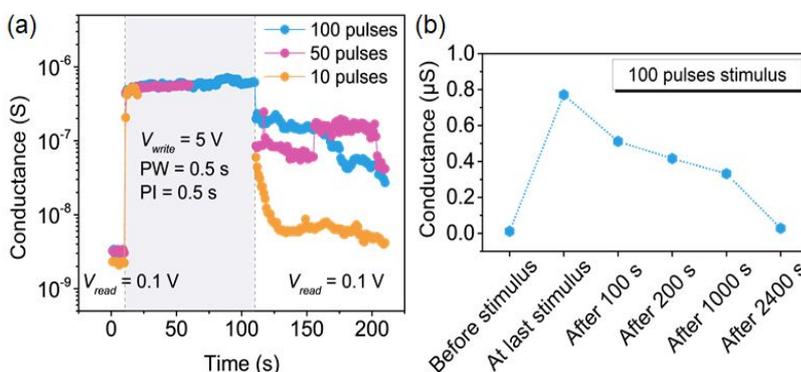


図 3 (a)Ag/Ag₂S デバイスに 10, 50, 100 パルス印可後のコンダクタンスの時間変化 (b)100 印可後のコンダクタンスの変化。長期シナプス可塑性が 40 分間維持された。

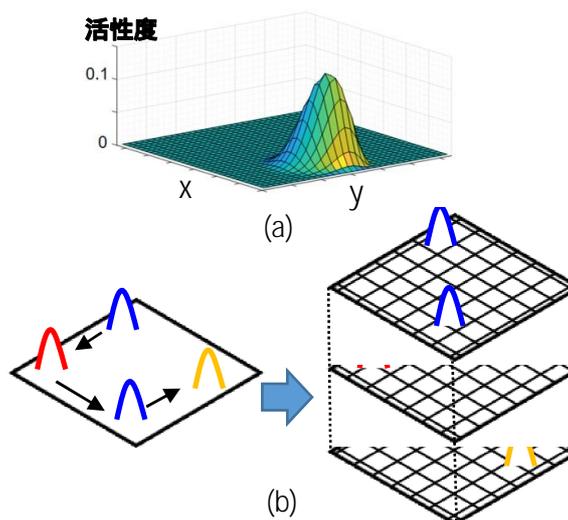


図 4 (a)場所細胞ネットワーク：x-y 平面上の現在地に相当する細胞とその周辺で発火頻度(活性度)がガウス関数状に分布する(神経パケット) (b)特定の場所で起こったイベントについて、それぞれのイベント平面对応する場所でガウス関数状に分布が記憶される。

に示すように、各イベント毎に場所細胞ネットワークを構成し、イベントと場所を関連付けて記憶する。このような海馬模倣型記憶システムについて、それぞれデジタル方式とアナログ方式のCMOS集積回路構成法を提案した。記憶部分を(1)で述べた銀微粒子メモリ素子で実装できれば、極めて高集積で低消費電力な海馬機能を実現するシステムを構成できる。

海馬と嗅内皮質の機能をヒントに、イベントの順序関係を記憶し、想起するニューラルネットワークモデルを提案した。エピソード記憶機能を実現する脳型モデルとして、場所情報とキュー(イベント)情報を統合した情報をエピソードとみなし、キュー・場所細胞(Cue-place cell)によるガウス関数状の神経活動パケットで表現し、その順序関係を記憶・想起するネットワークモデルを作成した。場所情報はエージェントの移動速度と頭方位によってシフトすることで、エージェントの現在位置を内部表現する。エージェントが移動するに伴い、次々に起こるエピソードの順序を記憶するため、あるイベントとそれに続くイベントを連結するヘテロ連想記憶(Heteroassociative memory)を挿入した。

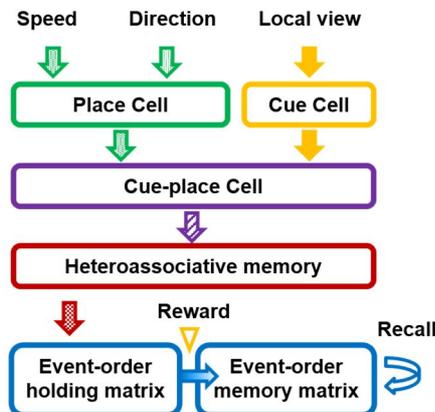


図5 提案ネットワークモデルの概要図

提案モデルは、8字迷路課題において、時計回り、もしくは反時計回りしながらエピソードの順序関係を一時的に蓄積する。関係するイベントの順序関係は一定期間保持され、エピソードが発生しても報酬が得られない場合、記憶する行列に残らない仕組みである。報酬地点に到達すると、ドーパミン依存シナプス可塑性を用いて、一時的に蓄積していた順序関係をイベント順序記憶行列(event-order memory matrix)に移行する。想起の際は、キーとなるイベント入力を起点として、イベント順序記憶行列との行列積を求める。この行列積を繰り返すことで、キー入力地点から報酬地点までを想起する。

スパイクニューロンを用いたニューラルネットワークによる場所表現学習によるダウンサイジングを提案した。エージェントの位置を内部表現する場所細胞を形成するにあたり、エージェントの移動速度と頭方位を入力とし、エージェントの位置を出力するよう学習するネットワークを作成した。提案ネットワークは、入力層-中間層-出力層の三層ネットワークである。特に、中間層はリカレント結合を有し、入力を一時的に保持し、経路積分ができる構造を有する。

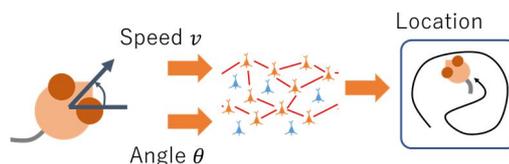


図6 移動速度と頭方位を入力とし、現在位置を出力するスパイクニューラルネットワークモデル。

本提案では、スパイクニューラルネットワークを直接学習させるのではなく、アナログ人工ニューラルネットワークで誤差逆伝搬法により場所表現を学習したのち、アナログニューロンをスパイクニューロンに変換することで実現した。結果として、提案モデルの中間層は128個で、ハードウェアとして実現可能な小ささで、場所を表現できるネットワークとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 K. Takada, K. Tateno	4. 巻 13
2. 論文標題 Real-time computation of a large-scaled entorhinal-hippocampal spiking neural network using GPU acceleration	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 349 - 354
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/nolta.13.349	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 2.H. Nakagawa, K. Tateno, K. Takada, T. Morie	4. 巻 10
2. 論文標題 A Neural Network Model of the Entorhinal Cortex and Hippocampus for Event-order Memory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 43003 - 43012
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2022.3168715	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 H. Nakagawa, K. Tateno, K. Takada, T. Morie	4. 巻 -
2. 論文標題 Hippocampus Model for Episodic Memory Processing Using Associative Memory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The proceedings of NOLTA2020	6. 最初と最後の頁 138
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Y. Tanaka, H. Tamukoh, K. Tateno, Y. Katori, T. Morie	4. 巻 -
2. 論文標題 A Brain-Inspired Artificial Intelligence Model of Hippocampus, Amygdala, and Prefrontal Cortex on Home Service Robots	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The proceedings of NOLTA2020	6. 最初と最後の頁 138-141
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Hadiyawarman, Y. Usami, T. Kotooka, S. Azhari, M. Eguchi, H. Tanaka	4. 巻 60
2. 論文標題 Performance of Ag-Ag ₂ S core-shell nanoparticle-based random network reservoir computing device	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe206	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24件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 T. -T. Dang, Y. Usami, H. Tanaka
2. 発表標題 Reservoir Computing Hardware-based Ag/Ag ₂ S Core-shell Nanoparticles
3. 学会等名 Society of Nano Science and Technology
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 O. Srikimkaew, Y. Nakao, Y. Usami, H. Tanaka
2. 発表標題 Time-Delay Reservoir Computing using an Ag-Ag ₂ S Core-Shell Network Device
3. 学会等名 The 19th Annual Meeting of Society of Nano Science and Technology
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中啓文, 琴岡匠, バナージー・ディーブ, アズハリ・サマン, 宇佐美雄生
2. 発表標題 ナノ粒子ランダムネットワークを用いたニューロモルフィック演算
3. 学会等名 ナノ学会第19回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Tanaka, H. Tamukoh, T. Morie
2. 発表標題 Random Network Structure of Materials Developing Next Generation AI Devices for Autonomous Robotics
3. 学会等名 239th ECS Meeting with the 18th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森江 隆
2. 発表標題 ニューロモルフィック・脳型AIハードウェアの研究開発
3. 学会等名 (一社)大阪大学ナノ理工学人材育成産学コンソーシアム主催令和3年度 第2回ナノ理工学情報交流「次世代ICTを考える」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 悠一朗, 田向 権, 立野 勝巳, 田中 啓文, 森江 隆
2. 発表標題 海馬・扁桃体・前頭前野の機能を統合した脳型AIハードウェア
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Tanaka
2. 発表標題 In-Materio Computing Devices Consisted of Random Network Nanoparticles
3. 学会等名 4th International Conference on Memristive Materials, Devices & Systems (MEMRISYS) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Mizutani, Y. Tanaka, H. Tamukoh, Y. Katori, K. Tateno, T. Morie
2. 発表標題 Brain-inspired neural network navigation system with hippocampus, prefrontal cortex, and amygdala functions
3. 学会等名 2021 Int. Symp. on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中啓文
2. 発表標題 ランダムネットワークが生み出すマテリアル知能：インマテリオ物理リザバー
3. 学会等名 東北大ブレインウェア工学研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中啓文
2. 発表標題 ランダムネットワークが生み出すマテリアル知能と自律ロボット応用
3. 学会等名 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 A. Mizutani, Y. Tanaka, H. Tamukoh, Y. Katori, K. Tateno, T. Morie
2. 発表標題 A situation-dependent navigation system by brain-inspired neural networks with hippocampus, prefrontal cortex, and amygdala functions
3. 学会等名 The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Tanoue, K. Tateno
2. 発表標題 Recurrent spiking neural network for self-localization inspired by medial entorhinal cortex
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Neuromorphic AI Hardware
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 O. Srikimkaew, S. Azhari, D. Banerjee, Y. Usami, H. Tanaka
2. 発表標題 Short-Term and Long-Term Plasticity of Pt/Ag-Ag ₂ S Nanoparticles Network/Pt Artificial Synapses
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Neuromorphic AI Hardware
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 オラディ・スリキムキャウ, サマン・アズハリ, 宇佐美雄生, 田中啓文
2. 発表標題 Pt/Ag-Ag ₂ S Nanoparticles/Pt Diffusive Memristor for In-Materio Reservoir Computing
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中啓文, 琴岡匠, ディーブ・バナジー, ハディヤワルマン, サマン・アズハリ, 宇佐美雄生
2. 発表標題 多様な材料を利用したランダムネットワーク物理リザーバーの比較
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 琴岡匠, Samuel Lilak, Adam Z. Stieg, James K. Gimzewski, 田中啓文
2. 発表標題 セレン化銀ナノワイヤを用いたリザバコンピューティングデバイスの作製
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中啓文・琴岡匠・パナージー ディープ・ハディヤワルマン T.アズハリ サマン・宇佐美 雄生
2. 発表標題 SvNT/ポリ酸ランダムネットワークによる脳型パルス発生とニューロモルフィック演算
3. 学会等名 高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Kotooka, Y. Usami, H. Tanaka
2. 発表標題 Temperature Dependence of Silver Selenide Nanowires Network for Reservoir Computing Device
3. 学会等名 33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Tanaka
2. 発表標題 Recent Development of Neuromorphic AI Hardware
3. 学会等名 International Collaboration Symposium on IPS 2020 (ISIPS2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Tanaka
2. 発表標題 Nanocarbon for Neuromorphic Network Nanodevices
3. 学会等名 4th International Seminar on Metallurgy and Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森江 隆, 立野 勝巳, 中川 拓紀, 高田 健介
2. 発表標題 海馬の機能にヒントを得た脳型ハードウェアアーキテクチャ
3. 学会等名 第30回日本神経回路学会全国大会 (JNNS2020) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森江 隆
2. 発表標題 不揮発性メモリを用いたAIプロセッサ/ニューロモルフィック回路技術の進展と今後の展望
3. 学会等名 応用物理学会 第48回 薄膜・表面物理セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Tanaka
2. 発表標題 Random network structure of materials developing next generation AI devices for autonomous systems
3. 学会等名 International Union of Materials Research Societies- International Conference in Asia (IUMRS-ICA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 琴岡匠, Samuel Lilak, Adam Z. Stieg, James K. Gimzewski, 田中悠一朗, 田向権, 宇佐美雄生, 田中啓文
2. 発表標題 Ag2Seナノワイヤネットワーク物理リザパーデバイスを用いた音声分類
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 演算処理装置	発明者 森江 隆, 田向 権, 立野 勝巳, 川島 一 郎, 他	権利者 国立大学法人九 州工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-33282	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 3次元電気素子及びそれを備えた機械学習システム	発明者 田中啓文, 宇佐美雄 生, アズハリ・サマ ン	権利者 国立大学法人九 州工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-174660	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

九州工業大学 大学院生命体工学研究科 人間知能システム工学専攻 脳型集積システム研究室 http://www.brain.kyutech.ac.jp/~morie/ 九州工業大学 大学院生命体工学研究科 人間知能システム工学専攻 知能創発ナノシステム研究室 http://www.brain.kyutech.ac.jp/~tanaka/ 九州工業大学 大学院生命体工学研究科 人間知能システム工学専攻 数理脳情報学研究室 http://www.brain.kyutech.ac.jp/~tateno/ ニューロモルフィックAIハードウェア研究センター https://www.brain.kyutech.ac.jp/~neuro/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	田中 啓文 (Tanaka Hirofumi) (90373191)	九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授 (17104)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	立野 勝巳 (Tateno Katsumi) (00346868)	九州工業大学・大学院生命体工学研究科・准教授 (17104)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関