

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：20103

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04258

研究課題名（和文）超立方体上の疑似ビリヤード・ダイナミクスを用いた計算機構の構築と応用

研究課題名（英文）Computing based on pseudo-billiard dynamics in hypercube and its applications

研究代表者

香取 勇一（Katori, Yuichi）

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授

研究者番号：20557607

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、脳の予測符号化や報酬学習を基にしたリザーバ計算モデルを用いて、ホームロボットのナビゲーション性能を向上させることに成功しました。提案モデルは、感情評価やエピソード記憶を活用し、障害物を避けながら効率的にゴールに到達する能力を実現しました。また、超立方体計算機構を用いた電子回路の実装により、大規模ニューラルネットワークの効率的なハードウェア実装を達成しました。これらの成果は、サービスロボットの実用化に向けた重要な一歩となります。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、脳に着想を得たリザーバ計算モデルを用いて、ロボットのナビゲーション性能を大幅に向上させました。この成果は、AIの計算資源や消費電力の削減に寄与し、効率的なロボット制御を実現する新たなアプローチを提供します。また、超立方体計算機構を基盤とする電子回路の実装により、複雑な組み合わせ最適化問題を高速かつ低消費電力で解決する手法を確立しました。これにより、社会における自律移動ロボットやサービスロボットの実用化が進み、日常生活の利便性向上に貢献することが期待されます。

研究成果の概要（英文）：In this study, we successfully improved the navigation performance of home robots using a reservoir computing model based on predictive coding and reward-based learning. The proposed model utilizes emotion evaluation and episodic memory to reach the goal while avoiding obstacles efficiently. Additionally, electronic circuits implemented using the hypercube computing mechanism achieved efficient hardware implementation of large-scale neural networks. These achievements represent a significant step towards the practical application of service robots.

研究分野：ニューラルネットワーク

キーワード：リザーバ計算 超立方体計算 強化学習 ホームロボット 電子回路実装

## 様式 C - 19 , F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在の深層学習を中心とする AI はデジタル・コンピュータを基盤としているが、その限界が明らかになっている。2進ブール代数を基盤とする計算原理では柔軟なシステム構築が可能だが、大規模な論理演算と信号伝達用回路に多くの資源と電力が必要となる。一方、ニューロ・モルフィック・デバイスは省電力が可能だが、信号伝達の制御が難しい。そこで、離散性と連続性をあわせ持つ超立方体計算を提案する。この計算機構は、深層学習やボルツマン・マシン、リザバー計算など多様な情報処理に適応できる。超立方体計算は、デジタルとアナログの長所を組み合わせた柔軟かつ省電力なハードウェア実装を可能にする。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、超立方体計算の理論整備、ハードウェア実装、およびロボット制御への応用にある。まず、理論面では高次元の非線形ダイナミクスの特性を明らかにし、システム特性と情報処理の関係を解明する。次に、実装面ではデジタル集積回路 (FPGA) を用いてネットワーク構造やパラメータと計算性能の関係を明らかにし、効率的な回路構成を確立する。最後に、応用面では超立方体計算をホームロボットの制御に応用し、センサー情報処理やアクチュエータ制御を含む行動計画のためのネットワークを構築し、その有効性を検証する。

### 3. 研究の方法

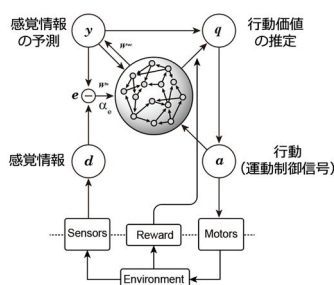
本研究では、まず超立方体計算の理論的な特性を解明し、ネットワーク構造と学習機構を確立し、感覚情報処理と運動制御モデルの構築を行う。また、電子回路への実装においては、数値表現の精度評価、非線形関数の近似精度評価、回路資源の圧縮手法を検討し、最適なネットワーク構造とパラメータ設定を行う。さらに、ホームロボットへの応用として、心的シミュレーションによる行動計画を含むモデルをホームロボットに実装し、シミュレータ環境および実環境でその性能を評価することを目指す。

### 4. 研究成果

#### (1)[リザバー計算による感覚情報処理と運動制御の統合ネットワークモデルの開発]

生物の脳が持つ予測符号化や報酬情報に基づく学習機構と、多数の非線形素子の振動現象に基づく計算機構であるリザバー計算を組み合わせたネットワークモデルを開発した。報酬に基づいて学習するリザバー強化学習モデルを構築し、連続状態空間上の部分観測マルコフ決定過程タスクで適切な行動を学習することを確認した。さらに感覚情報処理と運動制御を統合する強化学習と予測符号化を組み合わせた統合リザバー情報処理モデルを構築した。

オンライン強化学習に関する研究では、リザバー計算を基盤としたアクタークリティックモデルを提案し、ギブス方策を使用して環境の変化に迅速に適応する手法を開発した。CartPole タスクにおいて、提案モデ



予測符号化と強化学習による  
感覚と運動の統合情報処理モデル

ルがタスクを高精度で遂行できることを確認し、特定の実現では成功率が 100%に達した (Nagai et al. 2022) .

視覚の予測符号化モデルに関する研究では、リザーブ計算を用いて 3D 環境での強化学習タスクを解決する新しいアプローチを提案した。このモデルは、高次元の視覚入力を処理し、視覚情報を再構成できることが確認された。これにより、脳の視覚処理の新しい動的メカニズムが明らかになり、脳のような人工知能システムの基盤技術としての可能性が示された。この研究は、視覚システムの理解を深め、効率的な人工知能の実現に貢献するものである (Izumi et al. 2022) .

ロボットの連続値制御に関する研究では、リザーブアクタークリティックモデルを提案し、複雑な環境下でのロボット制御に成功した。このモデルは、リザーブ計算とアクタークリティック法を組み合わせ、連続値制御が必要なタスクにおいて高い性能を発揮することを示した。特に、MountainCarContinuous タスクでの実験結果は、モデルが連続値制御を効果的に行えることを確認し、ロボットの制御技術の向上に寄与するものである (湊 他 2023) . さらにこれを拡張した部分観測可能マルコフ決定過程 (POMDP) における強化学習に関する研究では、リザーブ計算とソフトアクタークリティックモデルを基盤に、学習効率を向上させるためにマルチレイヤー構造を導入している。実験結果から、このモデルは従来のフィードフォワードモデルに比べて、POMDP 環境での報酬獲得において優れた性能を発揮することが示された (Nagai et al. 2024) . これらの研究は、深層学習の高コストな問題を解決し、効率的なロボット制御を実現するための重要な一歩であり、リアルな環境での効率的かつ効果的な強化学習の応用に貢献するものである。

さらにモータープリミティブの生成と切り替えによる柔軟な運動生成に関する研究では、リザーブ計算を用いた強化学習モデルを提案し、ロボット操作における複雑な軌道パターンの生成を実現した。このモデルは、基本的な運動パターンを生成するネットワークと、これらのパターンを切り替える強化学習ネットワークの 2 つで構成されている。実験において、このモデルは図形 8 パターンのような複雑な軌道を効果的に生成できることが示された。これにより、サンプル効率や部分観測可能性といった課題を克服し、実世界でのロボット制御への応用可能性を示している (Yoshino et al. 2024) .

## (2)[超立方体計算機構の電子回路実装]

超立方体計算機構のデジタル電子回路実装に関する研究では、面積効率の高い積和演算アーキテクチャを提案した。この手法により、ハードウェア資源の使用量を削減し、時間多重化による計算時間の増加を抑制した。実験結果では、2048 個のニューロンからなる完全連結のネットワークとリザーブ計算が単一の FPGA に実装できることを示した。この成果は、大規模ニューラルネットワークの効率的なハードウェア実装に向けた重要な一歩である (Kawashima 2021) .

リザーブ強化学習に関する研究では、FPGA 上で上述の計算機構を用いたモデルを実装し、効率的なハードウェア実装を実現した。このモデルは、9 部屋のタスク環境での実験において、低消費電力かつ高集積度のデバイスで最適な経路を学習できることを示した。この成果は、自律移動やロボットの経路計画など、リアルタイム応用において有望なアプローチとなる (Sakino 2023) . さらに超立方体計算機構を基盤とするアニーリングに関する研究では、FPGA 上に実装された超立方体計算機を用いて、大規模な組み合わせ最適化問題を解決することに成功した。この方

法は、従来のシミュレーテッドアニーリングマシンと比較して、計算速度が約 600 倍高速であり、FPGA 上での実装により低消費電力かつ高効率な動作を実現した。この研究は、将来的に高性能な組み合わせ最適化問題の解決手段として期待される(Yoshioka 2023)。

### (3)[リザーブ計算モデルのロボット応用]

ホームロボットの動作環境におけるロボットナビゲーションに関する研究では、脳に着想を得たニューラルネットワークモデルを提案した。このモデルは海馬、前頭前野、扁桃体の機能を統合し、エピソード記憶と感情評価に基づくナビゲーションを実現する。ロボットシミュレータを用いた実験では、提案モデルがロボットのナビゲーション性能を向上させることを確認した。具体的には、ロボットが感情価値を評価し、障害物を避けながら効率的にゴールに到達する能力が向上した。この研究は、サービスロボットの実用化に向けた重要な一歩を示している(Mizutani 2021)。

またリザーブ計算によるメンタルシミュレーションに関する研究では、リザーブ計算を用いた効率的な行動計画手法を提案し、自律移動ロボットのナビゲーションに成功した。このフレームワークは、モデルと環境の相互作用をシミュレートすることで学習と計画を行うものである。計算機上の実験において、ロボットが目標地点に到達するための最適な行動計画を実現し、学習コストを大幅に削減することが確認された(Yonemura et al. 2022)。さらに視覚情報に基づくメンタルシミュレーションに関する研究では、視覚情報のみで制御タスクを解決する計画を実行できることを示した。このモデルは、視覚情報から低次元の構造を学習し、エージェントの行動を最適化する。実験では、視覚情報のみを用いた部分観測可能なマルコフ決定過程(POMDP)のタスクを成功させることが確認された。この成果は、今後の制御タスクへの応用可能性を示し、データ効率の良い学習や複数のタスクの同時学習を可能にする(Yonemura et al. 2023)。さらにメンタルシミュレーションにおける、直接的なアクションシーケンスの最適化を目指した新しいモデルを提案した。このモデルは、内部環境の表現を使用して、アクションシーケンスの最適化を行うものである。実験結果から、古典的な制御タスクおよび特定の応用シナリオにおいて、従来の方法よりも優れた行動プランニング性能を発揮することが示された。この研究は、部分観測可能な環境下での強化学習の効果的な応用に貢献するものである(Yonemura et al. 2024)。

## 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 Yoshihiro Yonemura and Yuichi Katori	4. 巻 vol. 12, no. 2,
2. 論文標題 Network Model of Predictive Coding Based on Reservoir Computing for Multi-Modal Processing of Visual and Auditory Signals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 143-156
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/nolta.12.143	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 Koutaro Minato and Yuichi Katori	4. 巻 Part VI
2. 論文標題 Robot Arm Control Using Reward-Modulated Hebbian Learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Neural Information Processing 28th International Conference, ICONIP 2021	6. 最初と最後の頁 55-63
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-92310-5_7	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 Tokuda Keita, Fujiwara Naoya, Sudo Akihito, Katori Yuichi	4. 巻 136
2. 論文標題 Chaos may enhance expressivity in cerebellar granular layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 72 ~ 86
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neunet.2020.12.020	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 Yonemura Yoshihiro, Katori Yuichi	4. 巻 12
2. 論文標題 Network model of predictive coding based on reservoir computing for multi-modal processing of visual and auditory signals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 143 ~ 156
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/nolta.12.143	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 Yamaguchi Masatoshi、Iwamoto Goki、Nishimura Yuta、Tamukoh Hakaru、Morie Takashi	4. 巻 9
2. 論文標題 An Energy-Efficient Time-Domain Analog CMOS BinaryConnect Neural Network Processor Based on a Pulse-Width Modulation Approach	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 2644 ~ 2654
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.3047619	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 -

[学会発表] 計47件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 33件)

1. 発表者名 Jin Nakamura and Yuchi Katori
2. 発表標題 Construction and Analysis of a Computational Model of Motion Planning Based on Reward-Modulated Reservoir Computing with Short-term Synaptic Plasticity
3. 学会等名 Neuro2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yamato Sakino, Hakaru Tamukoh, Takashi Morie, and Yuichi Katori
2. 発表標題 Reservoir Based Reinforcement Learning Model with Pseudo-Billiard Dynamics in Hypercube
3. 学会等名 Neuro2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yu Yoshino and Yuichi Katori
2. 発表標題 Short-term memory ability of reservoir-based temporal difference learning model in partially observable Markov decision process
3. 学会等名 Neuro2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomohito Izumi and Yuichi Katori
2. 発表標題 Visual Predictive Coding Model with Reservoir Computing for Reinforcement Learning Tasks in 3D Environment
3. 学会等名 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuro Nagai and Yuichi Katori
2. 発表標題 Online Reinforcement Learning on Reservoir Based Actor-Critic Model with Gibbs's Policy
3. 学会等名 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Yonemura and Yuichi Katori
2. 発表標題 Mental simulation on reservoir computing as an efficient planning method for mobile robot navigation
3. 学会等名 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Ishikawa, Y. Katori, H. Yamamoto, H. Kato, T. Sumi, T. Shinkawa
2. 発表標題 Exploring influences of modular structure on time series generation performance in reservoir computing
3. 学会等名 The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer(BFBC2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 湊宏太郎, 香取勇一
2. 発表標題 レザバークタックリティックモデルによるロボットの連続値制御
3. 学会等名 ニューロコンピューティング(NC)研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石川慶孝, 新川拓海, 住拓磨, 加藤秀行, 山本英明, 香取勇一
2. 発表標題 スパイクングニューロンモデルによる培養神経系のレザバーク計算の性能評価
3. 学会等名 ニューロコンピューティング(NC)研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jin Nakamura, Yuichi Katori
2. 発表標題 Information representations obtained by reward-modulated reservoir computing with short-term synaptic plasticity
3. 学会等名 The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer(BFBC2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshihiro Yonemura, Yuichi Katori
2. 発表標題 Mental simulation using reservoir computing for solving control tasks of deterministic systems
3. 学会等名 The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer(BFBC2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 Yuichi Katori
2. 発表標題 Reservoir Computing Models for Integrating Sensory Processing and Motor Control
3. 学会等名 The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer(BFBC2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 香取勇一
2. 発表標題 感覚・運動情報処理を行う脳のリザーバ計算モデル
3. 学会等名 令和4年度第三回ブレインウェア工学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 香取勇一
2. 発表標題 大脳皮質に倣った動的予測符号化ネットワークモデル
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野村 修, 森江 隆, 田向 権, 川島 一郎, 中原和勇, 香取 勇一
2. 発表標題 カオスポルツマンマシンとそのレザバ-応用および超低消費電力型LSIの開発
3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Tamai, Y. Katori, H. Tamukoh, O. Nomura, T. Morie
2. 発表標題 Performance Evaluation of a Reservoir Reinforcement Learning Model Considering Nonlinear Write Characteristics of Analog Memory
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Neuromorphic AI Hardware (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Nakahara, Y. Katori, O. Nomura, H. Tamukoh, T. Morie
2. 発表標題 Evaluation of Modular Reservoirs Using Chaotic Boltzmann Machines
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Neuromorphic AI Hardware (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 玉井 克典, 田向 権, 香取 勇一, 野村 修, 森江 隆
2. 発表標題 アナログメモリの非線形書き込み特性を考慮したリザーバ強化学習モデルの性能評価
3. 学会等名 第83回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Shishido, K. Kawazoe, K. Tamai, Y. Katori, H. Tamukoh, O. Nomura, T. Morie
2. 発表標題 A Co-design Environment for Computational Models and Circuits Using PyLTSpice and Its Application to Circuit Design for Reinforcement Learning Using Reservoir Computing
3. 学会等名 The 10th RIEC Int. Symp. on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Tamai, K. Kawazoe, Y. Shishido, Y. Katori, H. Tamukoh, O. Nomura, T. Morie
2 . 発表標題 Numerical Simulation for VLSI Implementation of Reinforcement Learning Using Reservoir Computing
3 . 学会等名 The 10th RIEC Int. Symp. on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2022) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Tamai, K. Kawazoe, Y. Shishido, Y. Katori, H. Tamukoh, O. Nomura, T. Morie
2 . 発表標題 Numerical Simulation for Analog VLSI Implementation of Reinforcement Learning Using Reservoir Computing
3 . 学会等名 The 3rd International Symposium on Neuromorphic AI Hardware (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Y. Shishido, K. Kawazoe, K. Tamai, Y. Katori, H. Tamukoh, O. Nomura, T. Morie
2 . 発表標題 A Co-Design Environment for AI Hardware Simulation Using PyLTSpice
3 . 学会等名 The 3rd International Symposium on Neuromorphic AI Hardware (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Nakahara, Y. Katori, H. Tamukoh, O. Nomura, T. Morie
2 . 発表標題 Memory Capacity of Reservoir Computing Using Chaotic Boltzmann Machines
3 . 学会等名 The 3rd International Symposium on Neuromorphic AI Hardware (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Kawazoe, Y. Katori, H. Tamukoh, O. Nomura, T. Morie
2. 発表標題 Design of a VLSI circuit with non-volatile analog memory for reinforcement learning using reservoir computing
3. 学会等名 9th International Symposium on Applied Engineering and Sciences (SAES2021) (国際学会)
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 第2回ナノ理工学情報交流会((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)(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 川添 皓平, 玉井 克典, 穴戸 優樺, 香取 勇一, 田向 権, 野村 修, 森江 隆
2. 発表標題 不揮発性アナログメモリの適用を目指したリザバー計算に基づく強化学習回路の設
3. 学会等名 電気学会電子回路研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 I. Kawashima, Y. Katori, T. Morie and H. Tamukoh
2. 発表標題 Hardware-oriented algorithm of reservoir computing based on chaotic Boltzmann machines
3. 学会等名 The 5th Int. Conf. on Machine Vision and Information Technology (CMVIT 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ichiro Kawashima, Yuichi Katori, Takashi Morie, Hakaru Tamukoh
2. 発表標題 An area-efficient multiply-accumulation architecture and implementations for time-domain neural processing
3. 学会等名 International Conference on Field-Programmable Technology (ICFPT) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和泉友人, 香取勇一
2. 発表標題 レザバー計算と予測符号化に基づく二経路視覚情報処理モデル
3. 学会等名 第31回日本神経回路学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村仁, 香取勇一
2. 発表標題 動的シナプスを用いた報酬修飾型レザバー計算に基づく行動計画の数理モデル
3. 学会等名 第31回日本神経回路学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koutaro Minato and Yuichi Katori
2. 発表標題 Robot Arm Control Using Reward-Modulated Hebbian Learning
3. 学会等名 ICONIP 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yu Yoshino and Yuichi Katori
2. 発表標題 Short-term memory ability of reservoir-based temporal difference learning model
3. 学会等名 Nonlinear Science Workshop (NLSW)2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshihiro Yonemura and Yuichi Katori
2. 発表標題 Functional connectivity analysis on hierarchical reservoir computing model
3. 学会等名 Nonlinear Science Workshop (NLSW)2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuichi Katori
2. 発表標題 Reservoir based sensory and motor processing models for multicellular neurobiocomputing,
3. 学会等名 The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daichi Kamimura, Yuichi Katori, Hakaru Tamukoh, and Takashi Morie
2. 発表標題 Performance Evaluation of Reservoir Computing Using Pseudo-billiard Dynamics in Hypercube
3. 学会等名 The 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuichiro Tanaka, Hakaru Tamukoh, Katsumi Tateno, Yuichi Katori, and Takashi Morie
2. 発表標題 A Brain-inspired Artificial Intelligence Model of Hippocampus, Amygdala, and Prefrontal Cortex on Home Service Robots
3. 学会等名 The 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshihiro Yonemura and Yuichi Katori
2. 発表標題 Multi-Modal Processing of Visual and Auditory Signals on Network Model Based on Predictive Coding And Reservoir Computing,
3. 学会等名 The 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daichi Yamamoto, Ichiro Kawashima, Hakaru Tamukoh, Takashi Morie, and Yuichi Katori
2. 発表標題 FPGA Implementation and Verification of Reservoir Computing Based on Pseudo-Billiard Dynamics in Hypercube
3. 学会等名 The 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masafumi Inada, Yuichiro Tanaka, Hakaru Tamukoh, Katsumi Tateno, Takashi Morie, and Yuichi Katori
2. 発表標題 A Reservoir Based Q-learning Model for Autonomous Mobile Robots
3. 学会等名 The 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuichi Katori
2. 発表標題 Reservoir Computing Based on Pseudo-Billiard Dynamics in Hypercube and Its Applications
3. 学会等名 The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (BFBC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大河原昂也, 香取勇一
2. 発表標題 レザバ-計算と深層強化学習を組み合わせた推論機構の研究」(Study on Inference Mechanism Using Reservoir Computing with Deep Reinforcement Learning)
3. 学会等名 第30回 日本神経回路学会 全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masumi Kaneko, Naoyuki Sato, and Yuichi Katori
2. 発表標題 Encoding of time series data using reservoir computing,
3. 学会等名 25th International Symposium on Artificial Life and Robotics(AROB 25th 2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 川村 周也, 香取 勇一
2. 発表標題 レザバ-計算と単語の分散表現を用いた文章生成モデル
3. 学会等名 NLP研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Nishimura; M. Yamaguchi; D. Kamimura; H. Tamukoh; T. Morie
2. 発表標題 A Reservoir Computing System Using a CMOS Chaotic Boltzmann Machine Chip Controlled by SoC FPGA
3. 学会等名 The 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2020) (国際学会)
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 第48回 薄膜・表面物理セミナー, 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会主催 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ichiro Kawashima; Yuichi Katori; Takashi Morie; Hakaru Tamukoh
2. 発表標題 Hardware-oriented algorithm of reservoir computing based on Chaotic Boltzmann machines
3. 学会等名 The 5th International Conference on Machine Vision and Information Technology (CMVIT 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	田向 権  (Tamukoh Hakaru)  (90432955)	九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授   (17104)	
研究 分担者	森江 隆  (Morie Takashi)  (20294530)	九州工業大学・大学院生命体工学研究科・特任教授   (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
---------	---------