

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H05472

研究課題名（和文）やわらかいダイナミクスとフレキシブルセンサー技術の融合による情報処理限界の突破

研究課題名（英文）Breaking through information processing limits by combining soft dynamics and flexible sensor technology

研究代表者

中嶋 浩平（NAKAJIMA, Kohei）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授

研究者番号：10740251

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 74,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、フレキシブルセンサー技術と物理リザーバー計算のアプローチを積極的に融合し、やわらかい身体ダイナミクスが本来持つ情報処理能力を最大限誘導することにあった。以下の三つの軸に従って研究を遂行した。やわらかい材料を用いた計算（open loop）、やわらかい材料を用いた自律行動制御（closed loop）、やわらかい材料を加味した学習法の開発である。これら、三つの軸に従って、系統的に研究を行い、多くの新しい技術の開発と新たな数理の発見がなされた。それらの成果のうちいくつかは、有名ジャーナルの論文として公表され、多くのメディアにプレスリリースもなされた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、ソフトロボットに対する物理リザーバー計算の適用手法・適用範囲を大きく変えたことにある。これにはフレキシブルセンサー技術の導入が大きく寄与している。現在、人とインタラクトする局面や医療において応用できるソフトロボット・ソフトデバイスの開発が世界的に進められている。本研究の成果の社会的意義は、こういったロボット・デバイスの情報処理の様態に関して、新しい手法を開発することで、より効率よく安価に短時間で実装できるアプローチを提示したことにある。これらの手法は、本領域全体の成果物であるソフトロボットの教科書にも収められており、社会的に広く発信されている。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to actively integrate flexible sensor technology and physical reservoir computing approaches in order to maximize the information processing capabilities inherent in the dynamics of a soft body. The research was conducted based on the following three axes: computation using soft materials, autonomous behavior control using soft materials, and development of learning methods incorporating soft materials. Systematic research was carried out along these three axes, resulting in the development of numerous new technologies and the discovery of new mathematical principles. Some of these achievements have been published as papers in renowned journals and have also been announced through press releases in various media outlets.

研究分野：非線形力学

キーワード：リザーバー計算 物理リザーバー計算 ソフトロボティクス カオス 大自由度力学系 タコ

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初から現在まで変わらず、やわらかい材料でできたデバイス・ロボットが世界的に数多く開発され始めてきている(特に、やわらかい材料でできたロボットをソフトロボットとよぶ)。やわらかい材料は固いものと比較して、一般に弾性をもつことからパッシブに変形でき、また対象を傷つけないということから人との相互作用が必要となる局面に多く導入が期待されている[Laschi, et al., Science Robotics 2016]。また、こういったやわらかい機械はアクチュエートされた際、極めて多様なダイナミクスを生成する。研究代表者はこれまでこれらやわらかい材料の持つ動的な特性が、実はそれ自体、積極的に計算資源として活用できることを示してきた[Nakajima, et al., SoRo 2018; Sci. Rep., 2015; J. R. Soc. Interface, 2014]。具体的には、やわらかい材料のダイナミクスを巨大なリカレントニューラルネットワークと捉え、制御プログラムを埋め込むなど、実時間計算・自律制御が実装できることを示した。この技術は**物理リザーバ計算**と呼ばれる[Nakajima, JJAP 2020]。

本研究課題では、研究開始当初におけるソフトロボットに対する物理リザーバ計算の適用範囲を大幅に拡張し、そのポテンシャルを最大限引き出すことを考えた。やわらかい材料のダイナミクスは本来的には連続体であるが、センサーを通して時空間的に離散化された時系列データとして処理されることになる。これまでは、このセンサーには、かたい材質のものが使われており、複数のセンサーをデバイスに埋め込むと、デバイスのやわらかさが失われ、そのダイナミクスの多様性も失われてしまうという難点があった。この点に関し、研究分担者は、やわらかい材質のセンサー(以降、フレキシブルセンサーとよぶ)の開発を精力的に進めてきた。ここでは、その最先端センサー技術と物理リザーバ計算のアプローチを積極的に融合することを考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、フレキシブルセンサー技術と物理リザーバ計算のアプローチを積極的に融合し、やわらかい材料のダイナミクスが本来持つ情報処理能力を最大限誘導することであった。また、それに基づいたソフトロボット特有の情報処理技術・制御技術を確立することを目指した。ここにおける情報処理技術の構築を系統的に行うために以下に示す三つの段階を策定した:

- (1) やわらかい材料を用いた計算(open loop)
 - (2) やわらかい材料を用いた自律行動制御(closed loop)
 - (3) やわらかい材料を加味した学習アルゴリズムの開発
- 項目(1)と(2)を順次遂行し、(3)は発展的なテーマとした。

3. 研究の方法

研究の方法としては先に述べたように、項目(1)と(2)を遂行した後に、項目(3)に取り掛かることとした。項目(1)に関しては、リザーバ計算分野で使われているベンチマークタスク(NARMAモデルの近似タスクなど)や情報処理容量(IPC)[Dambre et al., 2012; Kubota et al., 2021]を用いて、着目しているリザーバの計算能力を評価し、その後、現実的なタスク(例えば、indirect sensing)に応用して評価するという手法をとった。項目(2)に関しては、ターゲットとしてリザーバに埋め込む自律力学系の時刻 t の状態をリザーバの入力から注入した上で(teacher forcing)、その自律力学系の時刻 $t+1$ の状態を予測するように学習し、その予測誤差を評価指標にし、その後、実際の自律行動制御の実装を評価した。

4. 研究成果

上述した各項目に従って説明を行う。

(1) やわらかい材料を用いた計算(open loop)

まず、ソフトロボット分野において多く登場する柔軟な連続体を想定し、動画情報からその連続体の中心線のダイナミクスを抽出するシステムを開発した(soft skeleton solver と呼ばれる)[Inoue et al., SoRo, 2022]。このシステムを活用して、柔軟体のリザーバとしての本来の計算能力を計測できるようになったため、柔軟体に埋め込まれたセンサーにより構成されたリザーバの計算能力と比較することで、どの程度、センサーが本来のダイナミクスの計算能力を維持しているかを定量できるようになった。Soft skeleton solver は以降の解析でも多く使われることとなった。

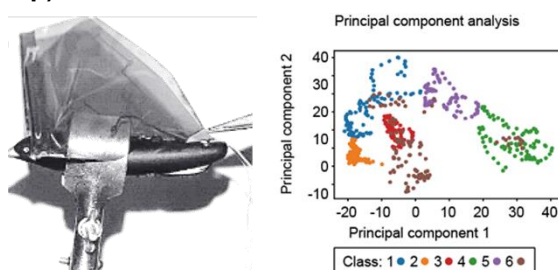


図 1. 飛翔ロボットの羽のダイナミクスは風向き推定に活用できる。

物理リザーバー計算の open loop task として、我々が具体的に着目したのは indirect sensing task である。以下に成果の例を挙げる。飛翔ロボットの羽にフレキシブルセンサーを搭載し、飛翔ロボットに対する風向きの分類を羽のダイナミクスを物理リザーバーとして活用することで実装できることを示した [Tanaka et. al., Adv. Intell. Syst., 2021] (図 1)。空気圧ポンプ内の内容物の状態の推定 [Wakamatsu, et. al., IEEE RoboSoft, 2020; Oshino et. al., IEEE Access, 2021.] や導電性ゴムで構築したマッキベン型空気圧人工筋肉のダイナミクスを抵抗値を使ってモニタし、物理リザーバーとして活用することで、自身の長さ推定が行えることを示した [Sakurai, et. al., JRM, 2022; Akashi, et. al., arXiv, 2023]。また、シリコン型の連続体リザーバーを活用し、媒質（あるいは環境）の重要性に関して、二つの側面から解析した。リザーバー計算を成立させる重要な性質として、echo state property (ESP) というものがある。まず、水中において ESP を持つシリコン型の連続体リザーバーが空気中では ESP を失うことが示された [Kagaya, et. al., IEEE RoboSoft, 2022]。つまり、環境条件がリザーバーの成立に大きく影響を与えていることを示している。また、逆に、媒質の影響を使うことで、環境中の passive な物体が ESP を持つことで、リザーバーとして機能する状況が作れることが示された [Tanaka, et. al., Adv. Intell. Syst., 2022] (図 2)。これは、リザーバーの境界というのは固定的ではなく、動的であることを示している。

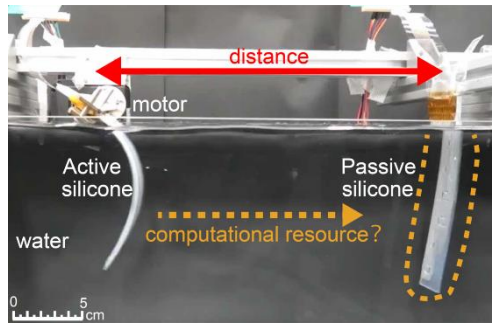


図 2. 媒質を介して、空間的に離れた場所に計算を飛ばす。

Indirect sensing task に付随して、通常のリザーバー計算に関しても多くの成果を得た。特に、先に述べたマッキベン型空気圧人工筋肉の長さ推定タスクに関して、echo state network (ESN) が有効であり [Sakurai, et. al., IEEE RoboSoft, 2020]、knowledge-based approach も組み合わせることで格段に精度が増すこと [Sun, et. al., IEEE RA-L, 2022] や、長さに関連する物理変数を事前学習した ESN を用いると、ここでも高い精度の推定結果が得られることが示された [Nishida, et. al., IEEE MHS, 2022]。また、人工筋肉でできた wearable device の長さ推定も外付けの spintronics reservoir で実装できることが示された [Akashi, et. al., Adv. Intell. Syst., 2022]。シリコンでできたタコ腕内に埋め込まれた曲げセンサーの値を深い層にした ESN に注入し、全体の中心線（姿勢に当たる）のダイナミクスが再構成できることも検証した [Tanaka, et. al., IEEE RA-L, 2022]。また、傘などに貼り付けることができるきわめてやわらかいフレキシブルセンサーの応答を ESN に注入することで、雨量と風速の同時計測が可能となることも示した [Wakabayashi, et. al., Adv. Mater., 2022] (図 3)。

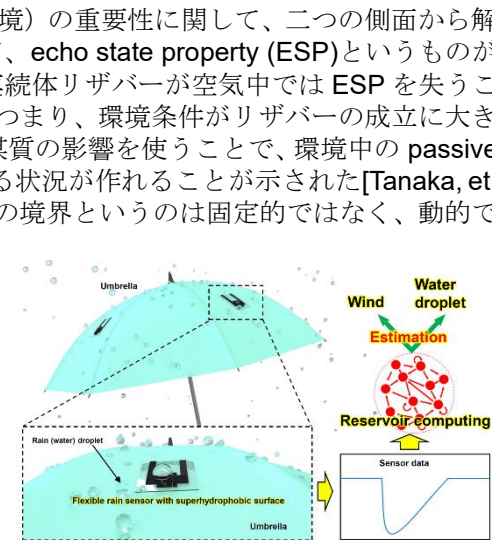


図 3. 液滴による抵抗値の変化を利用して、複数の indirect sensing を同時に行う。

(2) やわらかい材料を用いた自律行動制御(closed loop)

ここでは、まず、ソフトロボットへの実装を始める前に、ESN を使ってカオスの遍歴を含む複雑な自律力学系を設計する手法を確立した [Inoue, et. al., Sci. Adv., 2020] (図 4)。その際、input reservoir と呼ばれる ESP を示すリザーバーに inputs を注入し、その応答をカオス・リザーバーに注入するといった組み合わせが重要であることを確認した [Inoue, et. al., IEEE MHS, 2019]。次に、魚ロボットを作成し、その身体のダイナミクスをリザーバーとして活用し、遊泳制御が埋め込めることを実証した [Horii, et. al., ALIFE]。また、先に述べたマッキベン型空気圧人工筋肉を物理リザーバーとして、自律力学系を埋め込み、さらに分岐が埋め込めることも示した [Akashi, et. al., arXiv, 2023]。

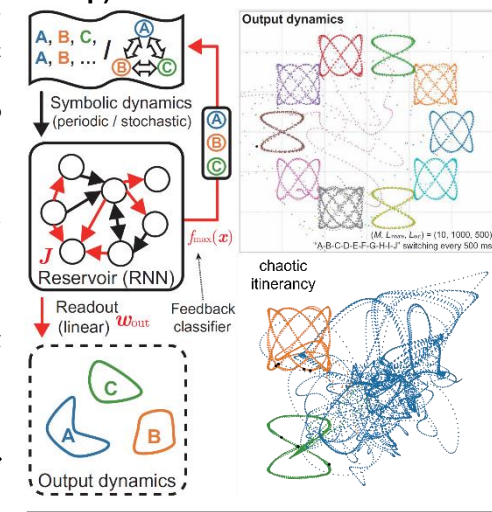


図 4. カオスの遍歴を含む複雑な力学系を設計する。

(3) やわらかい材料を加味した学習アルゴリズムの開発

物理リザーバーを多層に組んだものを深層物理リザーバーと呼ぶ。ここでは、物理リザーバー間の結合は実験者が調整可能であるとする。また、一般に、物理リザーバー自体の勾配を計算できないことが多く、バックプロパゲーションが使えないため、物理リザーバーをつなぐ結合荷重の調整を行うことは難しい。そこで、augmented direct feedback alignment

と呼ばれる学習手法を開発した [Nakajima, et. al., Nat. Comm., 2022] (図 5)。ここでは、勾配を計算する必要はなく、替わって任意の非線形関数でそれを置き換え、学習を行うことができる。また、誤差を出力から入力へと逐一逆伝搬する必要はなく、出力のエラーを層をまたいで伝搬することが可能となる。この手法は、光を使った物理リザバー計算やスパイクングニューラルネットワークにおいてその有効性が示された。将来的にはソフトロボットにおいて活用できるものと考えている。また、発展的なテーマとして、生態系のダイナミクスが物理リザバーとして活用できることも示した [Ushio, et. al., Royal Society Open Science, 2023]。この結果は、将来的に、バイオハイブリッドロボットにおいて、物理リザバー計算が活用で切る可能性を示唆している。

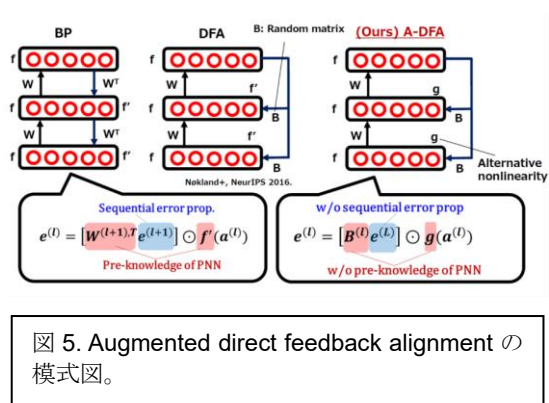


図 5. Augmented direct feedback alignment の模式図。

物理リザバー計算が活用で切る可能性を示唆

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計52件（うち査読付論文 51件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 24件）

1. 著者名 Sakurai Ryo, Nishida Mitsuhiro, Jo Taketomo, Wakao Yasumichi, Nakajima Kohei	4. 巻 34
2. 論文標題 Durable Pneumatic Artificial Muscles with Electric Conductivity for Reliable Physical Reservoir Computing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 240 ~ 248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p0240	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 Wakabayashi Seiji, Arie Takayuki, Akita Seiji, Nakajima Kohei, Takei Kuniharu	4. 巻 34
2. 論文標題 A Multitasking Flexible Sensor via Reservoir Computing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2201663 ~ 2201663
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202201663	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 Sun Wentao, Akashi Nozomi, Kuniyoshi Yasuo, Nakajima Kohei	4. 巻 7
2. 論文標題 Physics-Informed Recurrent Neural Networks for Soft Pneumatic Actuators	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 6862 ~ 6869
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2022.3178496	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 Imai Yusuke, Tsunegi Sumito, Nakajima Kohei, Taniguchi Tomohiro	4. 巻 105
2. 論文標題 Noise-induced synchronization of spin-torque oscillators	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 224407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.224407	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 Tanaka Kazutoshi、Minami Yuna、Tokudome Yuji、Inoue Katsuma、Kuniyoshi Yasuo、Nakajima Kohei	4. 巻 7
2. 論文標題 Continuum-Body-Pose Estimation From Partial Sensor Information Using Recurrent Neural Networks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 11244 ~ 11251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2022.3199034	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 Akashi Nozomi、Kuniyoshi Yasuo、Tsunegi Sumito、Taniguchi Tomohiro、Nishida Mitsuhiro、Sakurai Ryo、Wakao Yasumichi、Kawashima Kenji、Nakajima Kohei	4. 巻 4
2. 論文標題 A Coupled Spintronics Neuromorphic Approach for High Performance Reservoir Computing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Intelligent Systems	6. 最初と最後の頁 2200123 ~ 2200123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aisy.202200123	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 Nakajima Mitsumasa、Inoue Katsuma、Tanaka Kenji、Kuniyoshi Yasuo、Hashimoto Toshikazu、Nakajima Kohei	4. 巻 13
2. 論文標題 Physical deep learning with biologically inspired training method: gradient-free approach for physical hardware	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 7847
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-35216-2	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 Nakano Kazashi、Gunji Megu、Ikeda Masahiro、Or Keung、Ando Mitsuhiro、Inoue Katsuma、Mochiyama Hiromi、Nakajima Kohei、Niiyama Ryuma、Kuniyoshi Yasuo	4. 巻 8
2. 論文標題 "RobOstrich" Manipulator: A Novel Mechanical Design and Control Based on the Anatomy and Behavior of an Ostrich Neck	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 3062 ~ 3069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2023.3265301	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 Ushio Masayuki, Watanabe Kazufumi, Fukuda Yasuhiro, Tokudome Yuji, Nakajima Kohei	4. 巻 10
2. 論文標題 Computational capability of ecological dynamics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 221614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsos.221614	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 Inoue Katsuma, Ohara Soh, Kuniyoshi Yasuo, Nakajima Kohei	4. 巻 4
2. 論文標題 Transient chaos in bidirectional encoder representations from transformers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 13204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.4.013204	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 Terajima Ryo, Inoue Katsuma, Yonekura Shogo, Nakajima Kohei, Kuniyoshi Yasuo	4. 巻 7
2. 論文標題 Behavioral Diversity Generated From Body?Environment Interactions in a Simulated Tensegrity Robot	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1597 ~ 1604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2021.3139083	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 Akai-Kasaya Megumi, Takeshima Yuki, Kan Shaohua, Nakajima Kohei, Oya Takahide, Asai Tetsuya	4. 巻 2
2. 論文標題 Performance of reservoir computing in a random network of single-walled carbon nanotubes complexed with polyoxometalate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Neuromorphic Computing and Engineering	6. 最初と最後の頁 014003 ~ 014003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2634-4386/ac4339	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 Tanaka Kazutoshi, Tokudome Yuji, Minami Yuna, Honda Satoko, Nakajima Toshiki, Takei Kuniharu, Nakajima Kohei	4. 巻 4
2. 論文標題 Self Organization of Remote Reservoirs: Transferring Computation to Spatially Distant Locations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Intelligent Systems	6. 最初と最後の頁 2100166 ~ 2100166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aisy.202100166	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 Akashi Nozomi, Nakajima Kohei, Shibayama Mitsuru, Kuniyoshi Yasuo	4. 巻 24
2. 論文標題 A mechanical true random number generator	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 New Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 013019 ~ 013019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1367-2630/ac45ca	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 Kan Shaohua, Nakajima Kohei, Asai Tetsuya, Akai Kasaya Megumi	4. 巻 9
2. 論文標題 Physical Implementation of Reservoir Computing through Electrochemical Reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 2104076 ~ 2104076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.202104076	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 Kamimaki Akira, Kubota Tomoyuki, Tsunegi Sumito, Nakajima Kohei, Taniguchi Tomohiro, Grollier Julie, Cros Vincent, Yakushiji Kay, Fukushima Akio, Yuasa Shinji, Kubota Hitoshi	4. 巻 3
2. 論文標題 Chaos in spin-torque oscillator with feedback circuit	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 43216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.043216	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 Kubota Tomoyuki、Takahashi Hirokazu、Nakajima Kohei	4. 巻 3
2. 論文標題 Unifying framework for information processing in stochastically driven dynamical systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 43135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.043135	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 Oshino Sana、Nishihama Rie、Wakamatsu Kota、Inoue Katsuma、Matsui Daisuke、Okui Manabu、Nakajima Kohei、Kuniyoshi Yasuo、Nakamura Taro	4. 巻 9
2. 論文標題 Generalization Capability of Mixture Estimation Model for Peristaltic Continuous Mixing Conveyor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 138866 ~ 138875
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2021.3112614	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 Goto Ken、Nakajima Kohei、Notsu Hirofumi	4. 巻 23
2. 論文標題 Twin vortex computer in fluid flow	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 New Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 063051 ~ 063051
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1367-2630/ac024d	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 W. Sun、N. Akashi、Y. Kuniyoshi、K. Nakajima	4. 巻 -
2. 論文標題 Physics-informed reservoir computing with autonomously switching readouts: a case study in pneumatic artificial muscles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MHS53471.2021.9767178	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 Wakao Yasumichi, Sakurai Ryo, Kitano Hajime, Nakajima Kohei	4. 巻 -
2. 論文標題 Object Recognition Using the Deformation Dynamics of Polyurethane Foam	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MHS53471.2021.9767110	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 Wu Ruihong, Nakajima Kohei, Pan Yongping	4. 巻 -
2. 論文標題 Performance Improvement of FORCE Learning for Chaotic Echo State Networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 In: Mantoro, T., Lee, M., Ayu, M.A., Wong, K.W., Hidayanto, A.N. (eds) Neural Information Processing. ICONIP 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol 13109. Springer, Cham.	6. 最初と最後の頁 262 ~ 272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-92270-2_23	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 Sumioka Hidenobu, Nakajima Kohei, Sakai Kurima, Minato Takashi, Shiomi Masahiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Wearable Tactile Sensor Suit for Natural Body Dynamics Extraction: Case Study on Posture Prediction Based on Physical Reservoir Computing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)	6. 最初と最後の頁 9481 ~ 9488
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IROS51168.2021.9636194	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 Horii Yuta, Inoue Katsuma, Nishikawa Satoshi, Nakajima Kohei, Niiyama Ryuma, Kuniyoshi Yasuo	4. 巻 -
2. 論文標題 Physical reservoir computing in a soft swimming robot	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the ALIFE 2021: The 2021 Conference on Artificial Life	6. 最初と最後の頁 92 ~ 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1162/isal_a_00426	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 Inoue Katsuma, Kuniyoshi Yasuo, Kagaya Katsushi, Nakajima Kohei	4. 巻 9
2. 論文標題 Skeletonizing the Dynamics of Soft Continuum Body from Video	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soft Robotics	6. 最初と最後の頁 201 ~ 211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/soro.2020.0110	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 S. Kan, K. Nakajima, Y. Takeshima, T. Asai, Y. Kuwahara, M. Akai-Kasaya	4. 巻 15
2. 論文標題 Simple reservoir computing capitalizing on the nonlinear response of materials: theory and physical implementations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 24030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.15.024030	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 N. Akashi, T. Yamaguchi, S. Tsunegi, T. Taniguchi, M. Nishida, R. Sakurai, Y. Wakao, K. Nakajima	4. 巻 2
2. 論文標題 Input-driven bifurcations and information processing capacity in spintronics reservoirs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 43303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.043303	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 K. Inoue, K. Nakajima, Y. Kuniyoshi	4. 巻 6 (46)
2. 論文標題 Designing spontaneous behavioral switching via chaotic itinerancy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabb3989
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abb3989	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 T. Yamaguchi, N. Akashi, K. Nakajima, H. Kubota, S. Tsunegi, T. Taniguchi	4. 巻 10
2. 論文標題 Step-like dependence of memory function on pulse width in spintronics reservoir computing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 19536
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-76142-x	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 K. Tanaka, S.-H. Yang, Y. Tokudome, Y. Minami, Y. Lu, T. Arie, S. Akita, K. Takei, K. Nakajima	4. 巻 3
2. 論文標題 Flapping-wing dynamics as a natural detector of wind direction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Intelligent Systems	6. 最初と最後の頁 2000174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aisy.202000174	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 T. Yamaguchi, N. Akashi, S. Tsunegi, H. Kubota, K. Nakajima, T. Taniguchi	4. 巻 2
2. 論文標題 Periodic structure of memory function in spintronics reservoir with feedback current	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 23389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.023389	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 K. Nakajima	4. 巻 59
2. 論文標題 Physical reservoir computing---an introductory perspective	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 60501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab8d4f	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 G. Soter, H. Hauser, A. Conn, J. Rossiter, K. Nakajima	4. 巻 IROS
2. 論文標題 Shape reconstruction of CCD camera-based soft tactile sensors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)	6. 最初と最後の頁 8957-8962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IROS45743.2020.9341698	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 R. Sakurai, M. Nishida, H. Sakurai, Y. Wakao, N. Akashi, Y. Kuniyoshi, Y. Minami, K. Nakajima	4. 巻 RoboSoft
2. 論文標題 Emulating a sensor using soft material dynamics: A reservoir computing approach to pneumatic artificial muscle	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 3rd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)	6. 最初と最後の頁 710-717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/RoboSoft48309.2020.9115974	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 K. Wakamatsu, K. Inoue, D. Hagiwara, H. Adachi, D. Matsui, S. Kurumaya, R. Nishihama, M. Okui, K. Nakajima, Y. Kuniyoshi, T. Nakamura	4. 巻 RoboSoft
2. 論文標題 Mixing State Estimation of Peristaltic Continuous Mixing Conveyor with Distributed Sensing System Based on Soft Intestine Motion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 3rd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)	6. 最初と最後の頁 208-214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/RoboSoft48309.2020.9116058	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 西田三博、櫻井良、若尾泰通、明石望洋、南友菜、中嶋浩平	4. 巻 vol.59, no.12
2. 論文標題 軟材料の内部ダイナミクスを利用した精密制御	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 油空圧技術	6. 最初と最後の頁 45-52
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 無
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 M. Komatsu, T. Yaguchi, K. Nakajima	4. 巻 2.78365E+14
2. 論文標題 Algebraic approach towards the exploitation of "softness": the input-output equation for morphological computation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The International Journal of Robotics Research	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/0278364920912298	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 T. Tanaka, K. Nakajima, T. Aoyagi	4. 巻 in press
2. 論文標題 Effect of recurrent infomax on the information processing capability of input-driven recurrent neural networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroscience Research	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) 10.1016/j.neures.2020.02.001	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 T. Haruna, K. Nakajima	4. 巻 100
2. 論文標題 Optimal short-term memory before the edge of chaos in driven random recurrent networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 62312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.100.062312	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 T. Yamaguchi, N. Akashi, K. Nakajima, S. Tsunegi, H. Kubota, T. Taniguchi	4. 巻 100
2. 論文標題 Synchronization and chaos in a spin torque oscillator with a perpendicularly magnetized free layer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 224422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.224422	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 T. Taniguchi, N. Akashi, H. Notsu, M. Kimura, H. Tsukahara, K. Nakajima	4. 巻 100
2. 論文標題 Chaos in nanomagnet via feedback current	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.174425	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 S. Tsunegi, T. Taniguchi, K. Nakajima, S. Miwa, K. Yakushiji, A. Fukushima, S. Yuasa, H. Kubota	4. 巻 114
2. 論文標題 Physical reservoir computing based on spin torque oscillator with forced synchronization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 164101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5081797	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 中嶋浩平	4. 巻 63 (12)
2. 論文標題 物理リザーバー計算の射程-ソフトロボットを例に	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 システム/制御/情報(「システム工学を変革するソフトロボット学」特集号)	6. 最初と最後の頁 505-511
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 常木澄人、谷口知大、三輪真嗣、中嶋浩平、久保田均	4. 巻 14 (6)
2. 論文標題 スピントルク発振器を用いた物理リザーバー計算	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 まぐね	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) 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 中嶋浩平、田中琢真、青柳富誌生	4. 巻 74 (5)
2. 論文標題 ダイナミクスによる情報処理 レザバー計算の最近の発展	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本物理学会誌 (シリーズ「人工知能と物理学」)	6. 最初と最後の頁 306-313
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 中嶋浩平、竹井邦晴	4. 巻 122 (1205)
2. 論文標題 ソフトロボットにおけるPhysical Reservoir Computing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会誌 (特集「ソフトロボット学」)	6. 最初と最後の頁 28-29
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 K. Nakajima, K. Fujii, M. Negoro, K. Mitarai, M. Kitagawa	4. 巻 11
2. 論文標題 Boosting computational power through spatial multiplexing in quantum reservoir computing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 34021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.11.034021	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 K. Nakajima, T. Haruna	4. 巻 21
2. 論文標題 Spatiotemporal dynamics driven by the maximization of local information transfer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 New Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 13034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1367-2630/ab0039	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 S. Tsunegi, T. Taniguchi, S. Miwa, K. Nakajima, K. Yakushiji, A. Fukushima, S. Yuasa, H. Kubota	4. 巻 57
2. 論文標題 Evaluation of memory capacity of spin torque oscillator for recurrent neural networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 120307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.120307	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 Torres Estefany, Nakajima Kohei, Godage Isuru S.	4. 巻 -
2. 論文標題 Information Processing Capability of Soft Continuum Arms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 2019 2nd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)	6. 最初と最後の頁 441-447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ROBOSOFT.2019.8722777	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 該当する

1. 著者名 中嶋浩平	4. 巻 33巻5号
2. 論文標題 やわらかい身体のダイナミクスに計算をアウトソースする	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 人工知能 (特集「自然界に見いだす数物構造を利用した知的情報処理」)	6. 最初と最後の頁 570-576
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 中嶋浩平、井上克馬、國吉康夫、Sophon SOMLOR、Tito Pradhono TOMO、Alexander SCHMITZ	4. 巻 102巻2号
2. 論文標題 柔らかいマテリアルの変形を用いた情報処理	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌 (小特集「リザパーコンピューティング」)	6. 最初と最後の頁 121-126
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 -

〔学会発表〕 計42件（うち招待講演 32件 / うち国際学会 23件）

1. 発表者名 Kohei Nakajima
2. 発表標題 Soft interface: exploiting soft body dynamics for computation
3. 学会等名 Soft Robots and Embodied Intelligence (full-day workshop at Robosoft 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Nakajima
2. 発表標題 Soft body meets chaos
3. 学会等名 New Directions for Simplified Control of Soft Robots (full-day workshop at Robosoft 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Nakajima
2. 発表標題 Physical Reservoir Computing for Soft Robotics
3. 学会等名 MRS (Materials Research Society) 2022 Spring, "Symposium SB02 - Materials, Power Sources, Sensors, Actuators and Mechanics for Untethered Soft Robots," May 8-13, 2022, Honolulu, Hawaii, US. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 やわらかい知能
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会・オープンフォーラム「ソフトロボット学の全貌を理解する-体系的テキストの上梓-」2022/09/09、東京大学本郷キャンパス工学部6号館G1講義室、Japan. (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 学習するダイナミクス：物理リザーバー計算の新規学習方法の提案
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会「インマテリアルAIコンピューティング」、2022/09/20、東北大学 M206 Multimedia Research Hall (ハイブリッド)、Japan. (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Nakajima
2. 発表標題 Physical Reservoir Computing
3. 学会等名 International School of Solid State Physics: 82nd Workshop "Unconventional Computing, Materials Science, Informatics, Hardware, Software", 2022/10/20-26, Erice-Sicily, Italy. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 やわらかい知能
3. 学会等名 日本機械学会講習会「ソフトロボット学入門 -基本構成と柔軟物体の数理-」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Nakajima
2. 発表標題 Physical reservoir computing for soft robots
3. 学会等名 Material Intelligence (workshop at Robosoft 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Nakajima
2. 発表標題 Physical Reservoir Computing: Exploiting Physical Dynamics as a Computational Resource
3. 学会等名 2021 Virtual Research Seminar Series on Complex Active and Adaptive Material Systems (Session "Information Processing in Materials") (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Nakajima
2. 発表標題 Physical Reservoir Computing
3. 学会等名 Deep Learning in Unconventional Neuromorphic Hardware (Satellite Workshop of IJCNN2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 物理リザーバー計算：ソフトロボットを例に
3. 学会等名 第16回TPE研究会公開講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Nakajima
2. 発表標題 Physical reservoir computing for embodied intelligence
3. 学会等名 Institute for Neural Computation Chalk Talk Series (University of California San Diego) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Nakajima
2. 発表標題 Physical reservoir computing and its relevance to embodied intelligence
3. 学会等名 2nd International Conference on Embodied Intelligence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 やわらかい身体の役割を考える
3. 学会等名 北海道大学 人間知・脳・AI研究教育センター (CHAIN) 主催 "CHAIN ACADEMIC SEMINAR #21" (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 物理リザーバー計算
3. 学会等名 2021日本数学会年会 (応用数学 (第VIII会場)) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Nakajima
2. 発表標題 Designing chaotic itinerancy
3. 学会等名 International Conference: Differential Equations for Data Science 2021 (DEDS2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 高次元カオスを用いてダイナミクスを設計する
3. 学会等名 MIMS 現象数理学研究拠点 共同研究集会2020年度「幾何学・連続体力学・情報科学の交差領域の探索」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 Physical Reservoir Computing: タコ腕コンピュータを例に
3. 学会等名 東京大学次世代知能科学研究センター連続シンポジウム 第一回「次世代の知能科学に向けて」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohei Nakajima
2. 発表標題 Physical Reservoir Computing for Soft Robots
3. 学会等名 NOLTA 2020 Special session "Physical Reservoir Computing" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 ソフトロボット学における情報処理(基礎から)
3. 学会等名 第1回ソフロボ数理勉強会(新学術領域「ソフトロボット学」ソフロボ数理勉強会主催)(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohei Nakajima
2. 発表標題 Physical Reservoir Computing for Soft Robots
3. 学会等名 ICRA 2020 Workshop on Self-Assembling and Reconfigurable Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nozomi Akashi, Terufumi Yamaguchi, Sumito Tsunegi, Tomohiro Taniguchi, Mitsuhiro Nishida, Ryo. Sakurai, Yasumichi Wakao, Kohei Nakajima
2. 発表標題 Input-driven bifurcations in spintronics reservoir computing
3. 学会等名 Second Symposium on Machine Learning and Dynamical Systems
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Akashi, K. Nakajima, Y. Kuniyoshi
2. 発表標題 Unpredictable as dice: analyzing riddled basin structures in a passive dynamic walker
3. 学会等名 Proceedings of 2019 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Inoue, K. Nakajima, Y. Kuniyoshi
2. 発表標題 Soft bodies as input reservoir: role of softness from the viewpoint of reservoir computing
3. 学会等名 Proceedings of 2019 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Kubota, K. Nakajima, H. Takahashi
2 . 発表標題 Echo State Property of Neuronal Cell Cultures
3 . 学会等名 Lecture Notes in Computer Science (vol 11731): International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 E. A. Torres, K. Nakajima, I. S. Godage
2 . 発表標題 Information Processing Capability of Soft Continuum Arms
3 . 学会等名 Proceedings of 2019 2nd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Komatsu, T. Yaguchi, K. Nakajima
2 . 発表標題 Differential Algebraic Method for Direct Evaluation of Computational Capabilities of Physical Reservoirs
3 . 学会等名 Proceedings of the 2019 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kohei Nakajima
2 . 発表標題 Towards a novel information processing scheme for soft robots
3 . 学会等名 30th 2019 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (From Micro & Nano Scale Systems to Robotics & Mechatronics Systems) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 物理リザーバー計算の射程:ソフトロボットを例に
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム:FS.AIエレクトロニクス「数理がひもとく自然・生命現象と知的計算能力」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 しなやかな知能を育てる --ソフトロボットにおけるフィジカルリザーバーコンピューティング--
3. 学会等名 2019年度日本機械学会年次大会(特別企画プログラム先端技術フォーラム機素潤滑設計部門企画ソフトロボット学)(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 Physical Reservoir Computingの射程:ソフトロボットへの応用を例に
3. 学会等名 京都大学大学院理学研究科/理学部数学教室談話会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Nakajima
2. 発表標題 Physical Reservoir Computing for Soft Robots
3. 学会等名 The First International Workshop on Theoretical and Experimental Material Computing (TEMC 2019)(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Nakajima, K. Inoue, Y. Kuniyoshi, S. Somlor, T. P. Tomo, A. Schmitz
2. 発表標題 Soft Keyboard: A Novel User Interface for Soft Devices
3. 学会等名 The 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Inoue, K. Nakajima, Y. Kuniyoshi
2. 発表標題 A Recipe for Designing Chaotic Itinerancy: Innate Training Approach
3. 学会等名 The 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 Reservoir Computingの展開
3. 学会等名 RIMS共同研究「統計的モデリングと予測理論のための統合的数理研究と実践」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 Reservoir Computingの展開
3. 学会等名 IBISML/PRMU/CVIM合同研究会にて招待講演 (FIT2018と同時開催) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中嶋浩平, 春名太一
2. 発表標題 Spatiotemporal dynamics driven by maximization of local information transfer
3. 学会等名 日本生物物理学会第56回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 春名太一, 中嶋浩平
2. 発表標題 Maximizing Local Information Transfer in Boolean Networks
3. 学会等名 日本生物物理学会第56回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Nakajima
2. 発表標題 Soft Interfaces: Linking Morphological Dynamics and Information Processing
3. 学会等名 IROS 2018 Workshop on Controlling Soft Robots: Model-based vs. Model-free Approaches (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Nakajima
2. 発表標題 Physical Reservoir Computing for Soft Robots
3. 学会等名 IROS 2018 Workshop on Soft Robotic Modeling and Control: Bringing Together Articulated Soft Robots and Soft-Bodied Robots (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中嶋浩平
2. 発表標題 やわらかいマテリアルを用いた機械学習法：Reservoir Computingの展開
3. 学会等名 ものづくり企業に役立つ応用数理手法の研究会（第26回技術セミナー）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栞井啓貴, 中嶋浩平, 青柳富誌生
2. 発表標題 Permutation分布に基づくコンセプトドリフトの検出
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 新学術領域「ソフトロボット学」研究班 日本ロボット学会、鈴森 康一、中嶋 浩平、新山 龍馬、舩屋 賢	4. 発行年 2023年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 320
3. 書名 ソフトロボット学入門	

1. 著者名 Kohei Nakajima, Ingo Fischer	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer Singapore	5. 総ページ数 458
3. 書名 Reservoir Computing---Theory, Physical Implementations, and Applications	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 推定装置、推定方法、プログラム、及び学習モデル生成装置	発明者 櫻井良, 若尾泰通, 中嶋浩平	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-229782	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

ソフトロボット学の創成
<http://softrobot.jp/>

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	竹井 邦晴 (TAKEI Kuniharu) (20630833)	大阪公立大学・大学院工学研究科 ・教授 (24405)	

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1件

国際研究集会 A full-day workshop, "Toward the Nature of Information Processing in Soft Machines: Bridging Flexible Electronics and Morphological Computation," in IEEE Robosoft 2019.	開催年 2019年～2019年
--	--------------------

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
---------	---------