

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04060

研究課題名（和文）シリコンデバイスを実装した世界最小の昆虫型ロボットの開発

研究課題名（英文）Development of World Smallest Insect-Type Robot with Implementation of Silicon Device

研究代表者

齊藤 健（SAITO, Ken）

日本大学・理工学部・准教授

研究者番号：70580174

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：世界最小の昆虫型ロボットの実現を目的として、ミリメートルサイズのロボットに搭載するシリコンデバイスを開発した。3年間の研究で、ロボットの移動機構である静電アクチュエータおよびロボットの制御機構であるハードウェアニューラルネットワークを研究成果として得た。いずれのシリコンデバイスも、マイクロロボットに搭載可能な約6平方ミリメートルの大きさで実現した。静電アクチュエータは150ミリグラムのロボットを駆動し、ハードウェアニューラルネットワークはコンピュータプログラムなしでのロボットの歩行動作を生成する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、ロボット技術の医学への応用が盛んに研究され、医師の操作により手術するロボットが実現されている。より患者の負担を軽減するためには、消化器官内に挿入可能なミリメートルサイズの手術支援ロボットの開発が必要である。本研究で開発した静電アクチュエータは小型にもかかわらず発生力が大きく、ロボットの駆動や手術用器具の操作に使用可能である。また、ハードウェアニューラルネットワークはロボットの自律化に有用な研究である。本研究で得た成果は、次世代型の手術支援ロボットの開発に発展可能である。

研究成果の概要（英文）：This research has developed silicon devices to be mounted on a millimeter-sized robot to realize the world's smallest insect-like robot. During the three years of research, the research results included an electrostatic actuator that is the robot's movement mechanism and hardware neural networks that is the robot's control mechanism. Both silicon devices were realized in about 6 square millimeters that can be mounted on a microrobot. The electrostatic actuator can drive a 150-milligram robot, and the hardware neural networks generate the walking motion of the robot without a computer program.

研究分野：機械工学

キーワード：シリコンデバイス マイクロロボット 昆虫型ロボット 静電アクチュエータ ハードウェアニューラルネットワーク

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

生物の安定した移動機構や高度な自律性を持つ制御機構などを、機械的・電氣的に模倣し、ロボットに実装する研究が世界的に注目されている。特に、昆虫などの小型生物を模倣することで、移動機構・制御機構・センサ・電源などの、小型化・高機能化・低消費電力化などを旨とする研究が行われている。昆虫サイズのマイクロロボットは、作物の受粉や資源の収集のほか、人間の体内における医療補助や、装置の微小部分における組み立て作業などの分野で活躍が期待できる。マイクロロボットの移動機構の小型化には、従来の機械加工技術による構成要素の作製には限界があるため、集積回路技術を基にした微細加工技術を用いた開発が進められている。マイクロロボットの制御機構の高機能化には、現在のマイクロコントローラなどを用いたプログラム制御では、生物のように高度な自律性を実現することは困難である。一方で、生物は優れた制御機構をコンパクトな脳で実現している。そこで、生物の脳がもつ優れた制御機構を応用するために、神経細胞をソフトウェアまたはハードウェアでモデル化し、ネットワーク化することで高度な機能を実現する研究が行われている。

研究代表者は、研究協力者(内木場文男：日本大学理工学部精密機械工学科教授、金子美泉：日本大学理工学部精密機械工学科助教)らとともに、平面構造であるセンサや移動機構などの作製に応用されている微細加工技術を拡張し、立体構造であるロボットの筐体にすべてシリコンウェハを用いた微小機械機構について研究を行っている。また、生物の脳をアナログ電子回路でモデル化し、ロボットの動作制御を行う微小電気機構についても研究を行っている。筐体にシリコンウェハを用いることで、微小機械機構および微小電気機構を融合し、Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)技術でマイクロロボットを実現することが可能である。研究代表者らはこれまでに、昆虫の六足歩行動作を模倣した、 $4.0 \times 4.0 \times 5.0$ mm サイズのマイクロロボットシステムの開発に成功した。ロボットの移動機構は形状記憶合金を用い、ロボットの制御機構はハードウェアニューラルネットワークを集積回路にて実現した。形状記憶合金による微小機械機構は発生力および変位量が大きい利点がある一方で、消費電力が大きい(400mW)、変形の応答速度が遅い欠点が存在する。また、微小機械機構の応答速度に合わせ、微小電気機構の時定数を大きくする必要があり、集積回路とは別にキャパシタを基板に実装したため、結果的に微小機械機構(大きさ： $4.0 \times 2.7 \times 2.5$ mm・重さ：20mg)と比べて、微小電気機構(大きさ： $4.0 \times 4.0 \times 2.5$ mm・重さ：59mg)が小型化の障害であった。さらに、ロボットシステムの消費電力が大きいため、太陽電池などの小型の電源を用いた電力供給は困難であった。今日、メートルサイズ、センチメートルサイズのロボットは研究が進み、様々な応用分野に用いられているが、ミリメートルサイズのロボットの開発には、基本要素のさらなる小型化・高機能化・低消費電力化が必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、研究代表者が研究協力者(内木場文男、金子美泉)と共に開発を行っている、ロボットの移動機構に形状記憶合金を使用したロボットとは別に、静電アクチュエータを用いて、ロボットの微小機械機構および微小電気機構の低消費電力化を目指す。数百 μ W程度まで消費電力を削減すれば、小型の太陽電池による給電が可能となる。本研究の実現のためには、(1)高出力・低消費電力の静電アクチュエータの開発、(2)静電アクチュエータの制御用のハードウェアニューラルネットワークの開発、(3)移動機構・制御機構・電源のロボットへの実装技術の研究が必要である。

3. 研究の方法

研究代表者は2016年1月に、研究協力者(内木場文男、金子美泉)とともに、単一の形状記憶合金の伸縮動作で、ロボットの脚を独立駆動可能なマイクロロボットを提案した。また、2016年10月より1年間、アメリカのカリフォルニア大学バークレー校にて客員研究員を務めた。カリフォルニア大学バークレー校では、研究協力者(Kristofer Pister)と共に、インチワーム型の静電アクチュエータの作製を行った。静電アクチュエータは低消費電力にて駆動が可能であるため、60V程度の電圧を発生する太陽電池にて駆動が可能である。本研究では、形状記憶合金をインチワーム型の静電アクチュエータに置き換える。

初年度に、インチワーム型の静電アクチュエータのマイクロロボットへの組み込みを行う。現状では1つの脚の動作にのみ成功しているため、6つの脚を駆動し昆虫の歩行動作を実現する新たな機構設計が必要である。次年度に、現在アルディーノおよびトランジスタにより駆動している、静電アクチュエータの制御用のハードウェアニューラルネットワークの開発を行う。ハードウェアニューラルネットワークの集積回路化を行うことで、現在の10cm程度の回路をロボットに搭載可能な2.5mmまで小型化する。最終年度にて移動機構・制御機構・電源のロボットへの実

装を行い、プロトタイプロボットを完成する。ただし、太陽電池については、研究協力者(三田吉郎：東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻准教授)より提供を受け、本研究ではロボットの筐体として後加工のみ行う。最終的に、移動機構・制御機構・電源をロボットの筐体の実装した、世界最小の昆虫型ロボットを本研究の成果として提案する。

4. 研究成果

(1) 初年度に得た研究成果

ロボットに実装するシリコンデバイスのうち、静電アクチュエータについて研究を実施した。過去の研究では、ロボットの脚の完全な動作が得られなかったため、理論値計算を基に改良を実施し、新たに工夫したバネ機構や駆動機構を設計した。また、東京大学微細加工プラットフォームの設備を用いて数種類の試作を行った。試作した静電アクチュエータはパターニングには成功したが、エッチングの段階で過度にエッチングされ、形状が正確に作製できなかった。静電アクチュエータの作製には、簡単なレシピの調整や形状の工夫が必要である。次年度の早い段階に静電アクチュエータの作製を成功させるために、調整を行う必要があった。

次年度予定していた、ロボットの制御機構であるハードウェアニューラルネットワークの開発については大幅な前倒しを実施し、ハードウェアニューラルネットワークの基本構成要素を、東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通じてチップ試作した。2018年9月30日に設計完了し、2018年12月24日に試作完了した。試作したチップの測定の結果、シミュレーション通りに動作することを確認した。ハードウェアニューラルネットワークに関しては、2019年3月25日に設計を完了し、2019年6月24日に試作完了となった。

一連の研究成果は、3件の国際会議の査読付きプロシーディング、3件の国際会議、5件の国内学会に報告した。

(2) 継続年度に得た研究成果

まず初年度に駆動に至らなかった静電アクチュエータの開発を引き続き行い、駆動に至らなかった原因を突き止め新たに改良を施した。その結果、東京大学微細加工プラットフォームの設備を用いて数種類の試作品が全て駆動する成果を得た(図1)。また、移動機構の開発と同時に、最終年度に向けてマイクロロボットの脚を新たに設計し駆動実験を行った。最終年度は移動機構を実装した、マイクロロボットの筐体設計を実施する必要がある。

ロボットの制御機構であるハードウェアニューラルネットワークの開発については、初年度に2回行った試作に引き続き、東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通じて3回チップ試作した。初年度に2回行った試作、当該年度の試作は全て設計通りに動作する成果を得た。結論として、当該年度に作製した試作チップはマイクロロボットの制御機構としての性能を満たし、開発は計画通り進んだ。

一連の研究成果を3件の雑誌論文、6件の国際学会、13件の国内学会に報告した。

(3) 最終年度に得た研究成果

初年度および継続年度に当初の計画通りおおむね順調に進展した移動機構の開発および制御機構の開発を基に、研究協力者が既に開発した電源を搭載する予定であった。残念ながら緊急事態宣言の発出に合わせ、シリコンデバイスやロボットの筐体を作製するために必須な日本大学理工学部内のクリーンルームの稼働も停止したため、研究内容を縮小し、移動機構および制御機構の改良を実施した。移動機構においてはマイクロロボットの脚を新たに2種類開発した。また、ロボットの制御機構の開発については、初年度、継続年度の試作に引き続き、東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通じて新たに3種類のチップ試作を実施した(図2)。当該年度に作製した試作チップはマイクロロボットの制御機構としての性能を満たし、開発は計画通り進んだ。

一連の研究成果を4件の論文誌、2件の国際会議、9件の国内学会に報告した。

研究期間における最終的な研究成果として、昆虫型ロボットの実現に必須なロボットの移動機構および制御機構を得た。今後、実際にシリコンデバイスを実装したロボットを作製する必要がある。

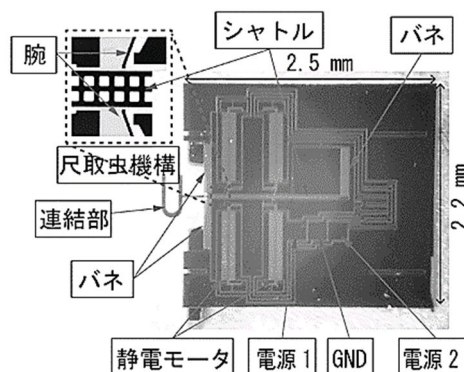


図1 試作した静電アクチュエータの一例

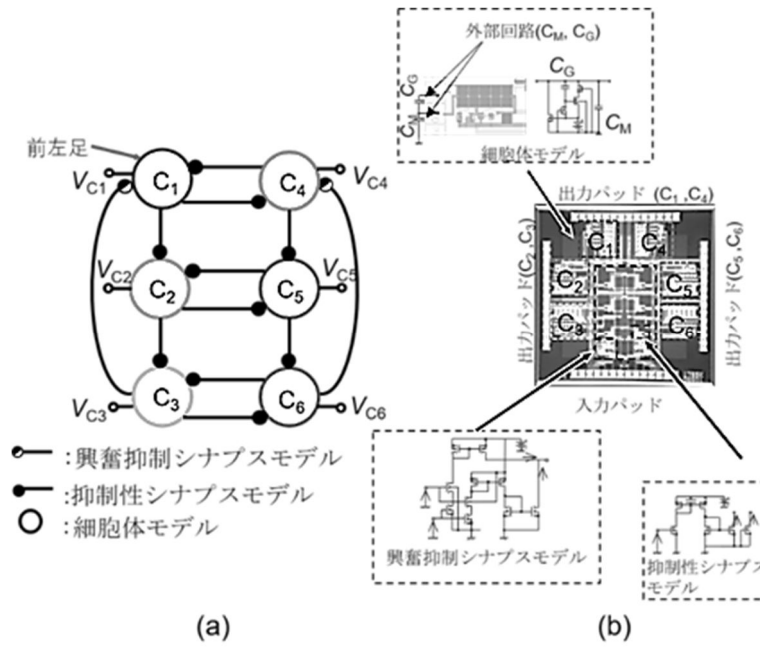


図2 試作したハードウェアニューラルネットワークの一例

今後の研究の展開に関する計画について、本研究開始時には明確なアプリケーションを持たなかったが、新たに日本大学医学部のアイデアと協力を得た。今後は本研究の研究成果を基に、人体の大腸内で活躍する医療用マイクロロボット(図3)として、研究を推進する計画である。

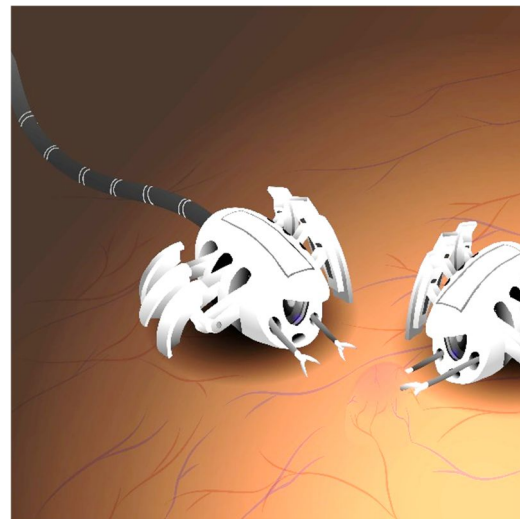


図3 医療用マイクロロボットのイメージ図

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Sasaki Takuro, Kurosawa Mika, Ohara Masaya, Hayakawa Yuichiro, Noguchi Daisuke, Takei Yuki, Kaneko Minami, Uchikoba Fumio, Saito Ken	4. 巻 25
2. 論文標題 Development of hardware neural networks generating driving waveform for electrostatic actuator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 446 ~ 452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-020-00608-4	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 Takei Yuki, Morishita Katsuyuki, Tazawa Riku, Katsuya Koichi, Saito Ken	4. 巻 26
2. 論文標題 Non-programmed gait generation of quadruped robot using pulse-type hardware neuron models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 109 ~ 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-020-00637-z	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 Sasaki Takuro, Kurosawa Mika, Usami Yu, Kato Shinya, Sakaki Arisa, Takei Yuki, Kaneko Minami, Uchikoba Fumio, Saito Ken	4. 巻 26
2. 論文標題 Development of neural networks chip generating driving waveform for electrostatic motor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 222 ~ 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-020-00669-5	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 Kurosawa Mika, Sasaki Takuro, Usami Yu, Kato Shinya, Sakaki Arisa, Takei Yuki, Kaneko Minami, Uchikoba Fumio, Saito Ken	4. 巻 -
2. 論文標題 Neural networks integrated circuit with switchable gait pattern for insect-type microrobot	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	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) 10.1007/s10015-021-00678-y	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 Saito Ken, Contreras Daniel S., Takeshiro Yudai, Okamoto Yuki, Hirao Satoshi, Nakata Yuya, Tanaka Taisuke, Kawamura Satoshi, Kaneko Minami, Uchikoba Fumio, Mita Yoshio, Pister Kristofer S. J.	4. 巻 12
2. 論文標題 Study on Electrostatic Inchworm Motor Device for a Heterogeneous Integrated Microrobot System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging	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) 10.5104/jiepeng.12.E18-009-1	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 該当する

1. 著者名 齊藤 健、金子 美泉、内木場 文男	4. 巻 54
2. 論文標題 世界最小の昆虫型ロボットの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 昆虫と自然	6. 最初と最後の頁 43 ~ 45
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 Masaya Ohara, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba, and Ken Saito	4. 巻 24
2. 論文標題 Spike-timing-dependent plasticity model for low-frequency pulse waveform	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 452 ~ 459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-019-00550-0	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38件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Katsuyuki Morishita, Shinya Kato, Takuro Sasaki, Yuki Takei, and Ken Saito
2. 発表標題 Development of receptor cell model converting sensor inputs into pulse waveforms
3. 学会等名 The Twenty-Sixth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2021 (AROB 26th 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Takei, Riku Tazawa, Takumi Kaimai, Katsuyuki Morishita, and Ken Saito
2. 発表標題 Dynamic simulation of non-programmed gait generation of quadruped robot
3. 学会等名 The Twenty-Sixth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2021 (AROB 26th 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 榎澤瑠奈, 伊藤穂高, 石川真聡, 山田哲之, 長田元気, 水本明日也, 森下克幸, 武井裕樹, 齊藤健
2. 発表標題 昆虫型マイクロロボットの駆動に必要な静電モータの出力に対する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高柳 拓生, 榎 亜理沙, 宇佐見雄, 加藤真也, 佐々木拓郎, 森下克幸, 武井 裕樹, 齊藤健
2. 発表標題 静電モータで動作するマイクロロボットの駆動波形を生成するニューラルネットワークの開発
3. 学会等名 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古屋重, 伊藤穂高, 石川真聡, 山田哲之, 長田元気, 水本明日也, 森下克幸, 武井裕樹, 齊藤健
2. 発表標題 てこクランク機構を用いたマイクロロボット用脚部の回転部品に対する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森下克幸, 宇佐見雄, 武井裕樹, 齊藤健
2. 発表標題 広い発火範囲を持つパルス形ハードウェアニューロンモデルの検討
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 加藤真也, 宇佐見雄, 榊亜理沙, 佐々木拓郎, 森下克幸, 武井裕樹, 齊藤健
2. 発表標題 センサ入力に応答する受容細胞モデルの集積回路化に対する検討
3. 学会等名 電気学会電子回路研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森下克幸, 加藤真也, 武井裕樹, 齊藤健
2. 発表標題 センサ入力強度に応じたパルス波形を出力する受容細胞モデルの開発
3. 学会等名 電気学会電子回路研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宇佐見雄, 星野太輝, 黒澤実花, 森下克幸, 武井裕樹, 齊藤健
2. 発表標題 階層型ハードウェアニューラルネットワークの構成要素の周波数特性に対する検討
3. 学会等名 電気学会電子回路研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名	榊亜理沙, 宇佐見雄, 加藤真也, 黒澤実花, 森下克幸, 佐々木拓郎, 武井裕樹, 金子美泉, 内木場文男, 齊藤健
2. 発表標題	静電モータで駆動する昆虫型マイクロロボットの歩行パターンを生成するニューラルネットワーク集積回路の開発
3. 学会等名	電気学会電子回路研究会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	森下克幸, 武井裕樹, 齊藤健
2. 発表標題	ヤツメウナギの遊泳に係る神経系を模倣したハードウェアニューラルネットワークモデルの設計
3. 学会等名	電気学会電子回路研究会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Kurosawa Mika, Sasaki Takuro, Ohara Masaya, Tanaka Taisuke, Hayakawa Yuichiro, Kaneko Minami, Uchikoba Fumio, Saeki Katsutoshi, and Saito Ken
2. 発表標題	Gait Pattern Generation of Hexapod-Type Microrobot Using Interstitial Cell Model Based Hardware Neural Networks IC
3. 学会等名	2019 International Conference on Electronics Packaging (ICEP) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	水本 明日也、長田 元気、平尾 聡志、武井 裕樹、金子 美泉、内木場 文男、齊藤 健
2. 発表標題	マイクロロボット用の静電モータの出力向上に対する検討
3. 学会等名	第29回マイクロエレクトロニクスシンポジウム MES2019
4. 発表年	2019年

1. 発表者名 平尾 聡志、長田 元気、水本 明日也、金子 美泉、内木場 文男、齊藤 健
2. 発表標題 MEMSマイクロロボットの脚部リンク機構に対する検討
3. 学会等名 第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Takei, Katsuyuki Morishita, Riku Tazawa, Koichi Katsuya, and Ken Saito
2. 発表標題 Non-programmed gait generation of quadruped robot using pulse-type hardware neuron models
3. 学会等名 The Twenty-Fifth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2020 (AROB 25th 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuro Sasaki, Mika Kurosawa, Yu Usami, Shinya Kato, Arisa Sakaki, Masaya Ohara, Yuki Takei, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba, and Ken Saito
2. 発表標題 Development of neural networks chip generating driving waveform for electrostatic motor
3. 学会等名 The Twenty-Fifth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2020 (AROB 25th 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mika Kurosawa, Takuro Sasaki, Yu Usami, Shinya Kato, Arisa Sakaki, Masaya Ohara, Yuki Takei, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba, and Ken Saito
2. 発表標題 Neural networks integrated circuit with switchable gait pattern for insect type microrobot
3. 学会等名 The Twenty-Fifth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2020 (AROB 25th 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Asuya Mizumoto, Masato Ishikawa, Hotaka Ito, Noriyuki Yamada, Genki Osada, Satoshi Hirao, Yuki Takei, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba, and Ken Saito
2. 発表標題 Simplification of leg mechanism using lever crank for insect-type MEMS microrobot
3. 学会等名 The Twenty-Fifth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2020 (AROB 25th 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武井裕樹、森下克幸、田澤陸、金子美泉、内木場文男、齊藤健
2. 発表標題 独立したニューロ回路の実装により動物に似た歩容を生成する四足歩行ロボットの開発
3. 学会等名 第32回 回路とシステムワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Genki Osada, Asuya Mizumoto, Satoshi Hirao, Yuichiro Hayakawa, Daisuke Noguchi, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba, and Ken Saito
2. 発表標題 Development of Electrostatic Linear Motor for Insect-Type Microrobot
3. 学会等名 EcoDesign2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早川雄一郎、野口大輔、大槻るみ、金子美泉、齊藤健、内木場文男
2. 発表標題 小型化および自律化に向けたニューラルネットワークIC搭載型マイクロロボットの開発
3. 学会等名 LSIとシステムのワークショップ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木 拓郎、黒澤 実花、小原 正也、長田 元気、水本 明日也、平尾 聡志、金子 美泉、内木場 文男、齊藤 健
2. 発表標題 静電モータを用いた昆虫型マイクロロボットを駆動するハードウェアニューラルネットワークの開発
3. 学会等名 JPCA2019 アカデミックブラザ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武井裕樹, 富増優樹, 田澤陸, 森下克幸, 金子美泉, 内木場文男, 齊藤健
2. 発表標題 ニューロ回路の搭載により生物の歩容を再現する四足歩行ロボットの開発
3. 学会等名 JPCA2019 アカデミックブラザ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木拓郎、黒澤実花、小原正也、早川雄一朗、野口大輔、金子美泉、内木場文男、齊藤健
2. 発表標題 静電モータを駆動するマイクロブレインチップの開発
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 2019年

1. 発表者名 宇佐見雄, 黒澤実花, 佐々木拓郎, 森下克幸, 小原正也, 武井祐樹, 齊藤健
2. 発表標題 階層型のパルス形ハードウェアニューラルネットワークに対する検討
3. 学会等名 電気学会電子回路研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口貴大, 森下克幸, 武井裕樹, 齊藤健
2. 発表標題 昆虫の脚の動作を模倣可能な中枢パターン生成器モデルの開発
3. 学会等名 電気学会電子回路研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田澤陸, 勝谷孝一, 森下克幸, 武井裕樹, 齊藤健
2. 発表標題 馬の歩容を生成するニューロモーフィック回路の小型化に対する検討
3. 学会等名 電気学会電子回路研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榊亜理沙, 宇佐見雄, 加藤真也, 黒澤実花, 佐々木拓郎, 小原正也, 武井裕樹, 齊藤健
2. 発表標題 マイクロロボット用の静電アクチュエータを駆動するニューラルネットワーク集積回路の基礎的検討
3. 学会等名 電気学会電子回路研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤真也, 宇佐見雄, 榊亜理沙, 黒澤実花, 佐々木拓郎, 小原正也, 武井裕樹, 齊藤健
2. 発表標題 四足歩行ロボットに実装するニューロモーフィック回路の集積化に対する検討
3. 学会等名 電気学会電子回路研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森下克幸, 武井裕樹, 齊藤健
2. 発表標題 ヤツメウナギの神経系を模倣したヤツメウナギアナログ神経回路モデルの開発
3. 学会等名 第34回エレクトロニクス実装学会春期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒澤実花, 小原正也, 佐々木拓郎, 平尾聡志, 齊藤健
2. 発表標題 マイクロロボット用の制御回路を駆動する太陽電池の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会東京支部学生会第24回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水本明日也, 長田元気, 平尾聡志, 仲田友也, 齊藤健
2. 発表標題 磁気アクチュエータの作製に向けたマイクロヒーターの作製
3. 学会等名 電子情報通信学会東京支部学生会第24回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長田元気, 水本明日也, 平尾聡志, 仲田友也, 齊藤健
2. 発表標題 MEMSマイクロロボット用の静電リニアアクチュエータの検討
3. 学会等名 電子情報通信学会東京支部学生会第24回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木拓郎、黒澤実花、小原正也、齊藤健
2. 発表標題 静電モータで駆動するマイクロロボットの駆動波形を出力する中枢パターン発成器の開発
3. 学会等名 電子情報通信学会東京支部学生会第24回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平尾聡志, 仲田友也, 長田元気, 水本明日也, 金子美泉, 内木場文男, 齊藤健
2. 発表標題 マイクロロボット用の双方向に駆動力をもつ静電リニアモータの開発
3. 学会等名 第33回エレクトロニクス実装学会春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaya Ohara, Mika Kurosawa, Takuro Sasaki, Taisuke Tanaka, Satoshi Kawamura, Yuichiro Hayakawa, Daisuke Noguchi, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba and Ken Saito
2. 発表標題 Development of Hardware Neural Networks IC with Switchable Gait Pattern for Insect-Type Microrobot
3. 学会等名 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaya Ohara, Mika Kurosawa, Takuro Sasaki, Taisuke Tanaka, Satoshi Kawamura, Yuichiro Hayakawa, Daisuke Noguchi, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba, and Ken Saito
2. 発表標題 Development of Hardware Neural Networks with Direction Change Mechanism for Insect-Type Microrobot
3. 学会等名 The Twenty-Fourth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2019 (AROB 24th 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuro Sasaki, Mika Kurosawa, Masaya Ohara, and Ken Saito
2. 発表標題 Development of Hardware Neural Networks Generating Driving Waveform for Electrostatic Actuator
3. 学会等名 The Twenty-Fourth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2019 (AROB 24th 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究者情報 https://www.cst.nihon-u.ac.jp/research/researcherinformation/researcher14/ 日本大学研究者情報システム http://kenkyu-web.cin.nihon-u.ac.jp/Profiles/83/0008285/profile.html ニューロロボティクス研究室 https://www.eme.cst.nihon-u.ac.jp/laboratory/saito.html</p>

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
研究協力者	内木場 文男 (UCHIKOBA Fumio)		
研究協力者	金子 美泉 (KANEKO Minami)		
研究協力者	三田 吉郎 (MITA Yoshio)		

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
研究協力者	PISTER Kristofer (PISTER Kristofer)		

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			
米国	カリフォルニア大学バークレー校			