

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H02545

研究課題名（和文）配線数問題を解決できる単電子リザーバコンピューティング回路の開拓

研究課題名（英文）Development of single-electron reservoir computing

研究代表者

大矢 剛嗣（OYA, Takahide）

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：30432066

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は「リザーバコンピューティング(RC)モデルを単電子デバイスに実装するための回路アーキテクチャの開発」をすることである。RCとは、近年注目を浴びているニューラルネットワーク(NN)モデルの一つである。最大の特徴は、リザーバと呼ばれる部分に含まれるニューロン間の接続や結合重みの設定法であり、一般的なNNでは十分に検討の必要があった設定・手法が不要になっている点である。本研究において、単電子回路研究の課題である配線数の問題と学習（シナプス結合の荷重変更）、および雑音利用を解決することができる新しい単電子情報処理の仕組みの構築を目指し、その可能性を見出すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では特に、回路の大規模化で大きな問題となる配線数について、リザーバコンピューティングを実装することで課題解決と情報処理の両立が可能なることを見出したことが大きいと考える。今回は単電子回路を対象として、その可能性について研究を遂行したが、他のナノ・量子デバイスや、いわゆる半導体集積回路においても同様の手法が取れる可能性があり、回路の大規模化に伴う配線数の増加に悩まされる情報処理デバイス全般に対して、ある程度の貢献ができると言える。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to develop a circuit architecture for implementing the reservoir computing (RC) model in a single-electron device. RC's greatest feature is a method for setting connections and coupling weights between neurons contained in a part called the reservoir, which do not require settings and methods that have needed to be fully considered in general neural networks.

In this study, I aimed to construct a new single-electron information processing mechanism that can solve the problems of the number of wires, learning (changing the weight of synaptic connections), and noise utilization, which are issues in single-electron circuit research, and found the possibility of such a mechanism.

研究分野：ナノエレクトロニクス

キーワード：単電子回路 リザーバコンピューティング

1. 研究開始当初の背景

近年、ナノテクノロジー研究の目覚ましい発展によりナノ電子デバイスの開発・研究は活況を呈している。本研究課題の対象回路・デバイスであり、単電子回路もそのようなデバイスの一つに挙げられる。図1に示すように、単電子回路研究の黎明期には「CMOS FET に替わる」というある種のキャッチフレーズの下、様々な回路が提案されてきた。具体的には単電子トランジスタ (SET) とそれを利用した擬似 CMOS 回路の開発があり、それを応用したノイマン型情報処理回路の開拓が長らく研究の主流であった[例えば、J.R. Tucker, J. Appl. Phys. 72, 4399 (1922).]。ところが、ナノテクノロジーおよび半導体製造技術の発展により、CMOS LSI の性能向上と微細化が進み、擬似 CMOS 回路研究の勢いが縮小してしまった。現に、長年記載のあった国際半導体技術ロードマップ(旧 ITRS、現 IRDS)の「次世代デバイス」レポートから、数年前に単電子デバイスの項目が削除されてしまった状況にある。

一方で、単電子デバイスが元来有している確率的な挙動や電子トンネル動作に基づく非線形挙動等は、単電子デバイスならではのものであり近年はそれを生かした応用の検討が熱を帯びつつある。主には非ノイマン型情報処理と単電子デバイスを結び付けようという研究であり、一例としては脳型情報処理・ニューラルネットワーク (NN) を単電子回路で構築するというものがある[例えば、T. Morie, Int'l J. Nanotech. Molecular Comp. 1, 1 (2009).]。これは、NN の構成要素であるニューロンの挙動と、シンプルな構成の単電子回路が生み出す挙動とがよく似ていることによる。このように単電子回路上に(相性の良い)非ノイマン型情報処理を実装することは、今後の単電子回路応用で主流となる可能性がある。

研究代表者は、10年以上前から自然・生物模倣情報処理や NN といった非ノイマン型情報処理の単電子デバイスへの実装研究について検討を進めてきた[例えば、T. Oya, et al., Int'l J. Unconventional Comp. 1, 177 (2005).]。これまでの研究により、最大の弱点であり、いかに排除するかを考えると鉄則だった(熱)雑音・ゆらぎについては NN の一機能である「確率共鳴」の原理の導入により克服(排除ではなく利活用)できる見通しが立ちつつある[例えば、T. Oya, Abstract collection of the 2018 Int'l Symp. Nonlinear Theory and its Applications, 693 (2018).]。したがって本研究では、これまでの「単電子回路 + NN」研究の知見を活かし、かつ近年注目されている NN モデルの一つであるリザーバコンピューティング(RC)モデルの概念を導入し、残された最大の課題である配線数についての問題解決(配線数の削減)を狙った。

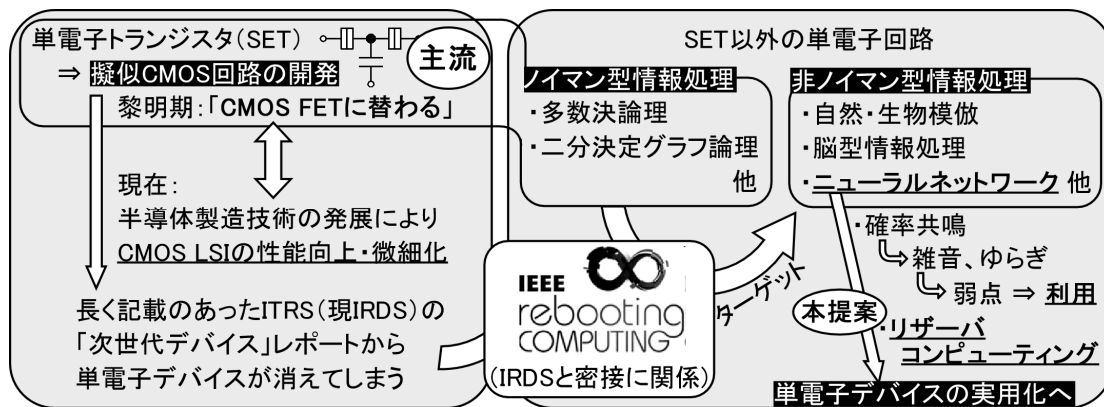


図1 単電子デバイスを取り巻く状況

2. 研究の目的

本研究の目的は「リザーバコンピューティングモデルを単電子デバイスに実装するための回路アーキテクチャの開発」をすることである。RCとは、近年注目を浴びている NN モデルの一つであり、図2のような模式図で表現される[例えば、H. Jaeger, et al., Science 304, 78 (2004).]。最大の特徴は図3に示すように、リザーバと呼ばれる部分に含まれるニューロン間の接続や結合重みの設定法であり、一般的な NN では十分に検討の必要があった設定・手法が不要になっている点である。究極的にはリザーバ部内のニューロン間配線はゼロでも構わないというのも回路アーキテクチャを考える際には大変魅力的である。このような NN モデルが正しく動作できる理由は、端的には「リザーバ部に蓄えられている素子から所望の動作をしているものだけ学習・結合重み設定を通して選択する」ことにある[野村 光 他, 第 65 回応物学会 春

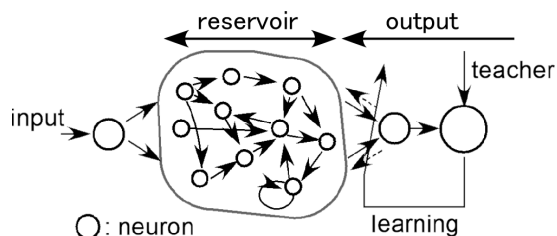
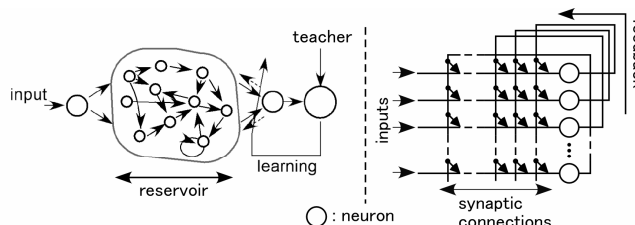


図2 リザーバコンピューティングモデル図

野村 光 他, 第 65 回応物学会 春

季学術講演会, 18p-D104-4 (2018).]. したがって、電子デバイスへの実装を考えた際には、本モデルの導入が配線数の問題を一気に解決させる突破口となる。現在、RC のデバイス実装研究については、主には光デバイスの分野で活発に行われている。しかしながら、単電子デバイスについては研究例が乏しい。また、一般的に NN 回路の結合荷重については回路として一度作ってしまうと結合荷重が固定されてしまうことが多く、学習により後天的に荷重を変更することが難しかった。さらには、変更したい荷重数の多さ（究極的には結合数と同数）も問題であった。これに対して RC の場合では、上述のようにリザーバ部から取り出した出力線に対してのみ学習をさせれば良いため、後天的に荷重を変更できるような回路を組み込むとしても現実的な個数だけあれば良い。また、RC の導入により配線問題の他に、熱雑音とゆらぎ（素子ばらつき）に関する包括的に解決できる可能性が高い。これは、RC は確率共鳴と同じようにノイズ・ゆらぎの活用能力があるとみなせることが知られるためである。その起源は、上述のように「ランダムな結合」の効果である。つまり、熱雑音やゆらぎによって一部の構成素子（ニューロン）がエラー動作していたとしても、本モデルの有するランダム性がそれらのエラー動作さえもランダム動作として包括してしまうことで、系全体としては正常動作ができるということである。



	リザーバコンピューティング	(一例として)相互結合型NN
ニューロン間の接続	基本的にランダム (リザーバ部は結合ゼロも可)	全結合型 (ニューロン数 $N$ に対して 最大 $N^2$ の接続数)
結合重み (シナプス結合)	ランダム	目的に合わせて設定
学習 (重み変更)	・リザーバ部内は不要 ・リザーバ部から取り出した 数本に対してのみ実施	基本的に結合全てに実施

図3 リザーバコンピューティングモデルと他モデルの比較

### 3. 研究の方法

本研究提案においては、特に解決すべき課題・明らかにすべき内容を下記の4点とした。

- (1)リザーバコンピューティングモデルを基にどのように単電子回路化するのか
- (2)(1)の(配線数を抑制した)設計回路が雑音・ゆらぎ環境下で所望の動作をするか
- (3)動作した場合に、なぜ動作出来ているのかを説明できる理論の構築
- (4)学習機能の実装とそれが正常動作をするかの確認

(1)については、これまでの研究提案者の研究の知見を踏まえ、ニューロンについては単電子振動子を採用した。これは、図4に示すように、入力後急激な変化を起こし、その変化直後は応答ができない(不応状態)というニューロンの挙動と単電子振動子の挙動が似ているためである。つまり、図3中でニューロンと表現していた部分を単電子振動子で置き換えた。単電子回路シミュレーションにより、ニューラルネットワーク、RCとして動作することの確認を進めた。

(2)および(3)についても、コンピュータシミュレーションにより確認を進めた。雑音・ゆらぎの許容量にはある程度の幅は存在すると想像されたため、その幅を調査し、最終的には理論の構築を行った。

(4)については先述の通り、出力の部分で学習を実行するため、その回路機構を検討した。加えて、結合強度を変更した際の挙動の変化等を考察した。最終的には、結合強度の変更機構の妥当性や最適な配線数(出力線数)も含めて確認を進めた。

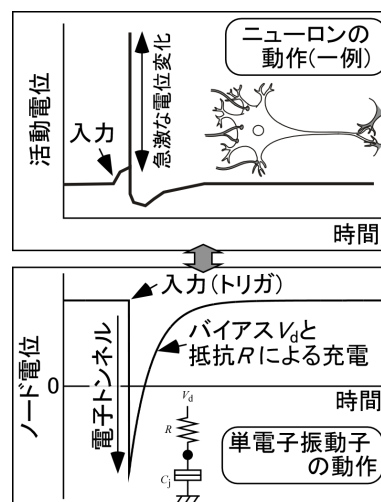


図4 ニューロンと単電子振動子

### 4. 研究成果

本研究期間において、上述の(1)~(4)について概ね目標を達成できた。具体的には、(1)の回路化については、図5のような回路構成を基本とするのが良いということが見出され、(2)についても雑音・揺らぎ環境下でも所望の動作をすることが確認された。さらには、リザーバ部の素子間ネットワークを構築しなくてもRCとして動作可能なことも見出された(図6)。(3)については、(2)の結果を踏まえ、「リザーバ」部に様々な特性を持つ単電子振動子を用意し、学習によりその中から所望の挙動をしている振動子だけを使うようにすることが重要であり、「動作が揃っている回路素子よりもむしろ、雑音や揺らぎ、素子ばらつきがある方がバラエティに富んだ動作を多数含むリザーバを用意することができて好都合になる」ということを見出した。このようなリザーバは先述の「リザーバ部に蓄えられている素子から所望の動作をしているものだけ学習・結合重み設定を通して選択する」という観点にも合致しており、本研究で提案する手法が優れていると考える。(4)については、オフライン学習、オンライン学習と呼ばれる手法を提案の単電子RC回路に適用することで、その有効性を確認した。特にオンライン学習においては正弦波や三

角波、矩形波等様々な波形入力に対しても所望の挙動が得られることを確認した。

以上のことより、単電子 RC 回路を構築することの有効性、さらには単電子回路研究の課題である配線数の問題と学習（シナプス結合の荷重変更）および雑音利用を解決することができる新しい単電子情報処理の仕組みの構築の可能性を見出すことができた。今回は単電子回路を対象として、その可能性について研究を遂行したが、他のナノ・量子デバイスや、いわゆる半導体集積回路においても同様の手法が取れる可能性があり、回路の大規模化に伴う配線数の増加に悩まされる情報処理デバイス全般に対しても、その課題解決のヒントとなると期待できる。

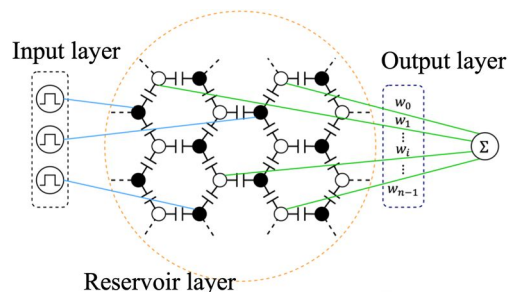


図5 提案した単電子 RC 回路

(○: + バイアスの単電子振動子、  
: - バイアスの単電子振動子)

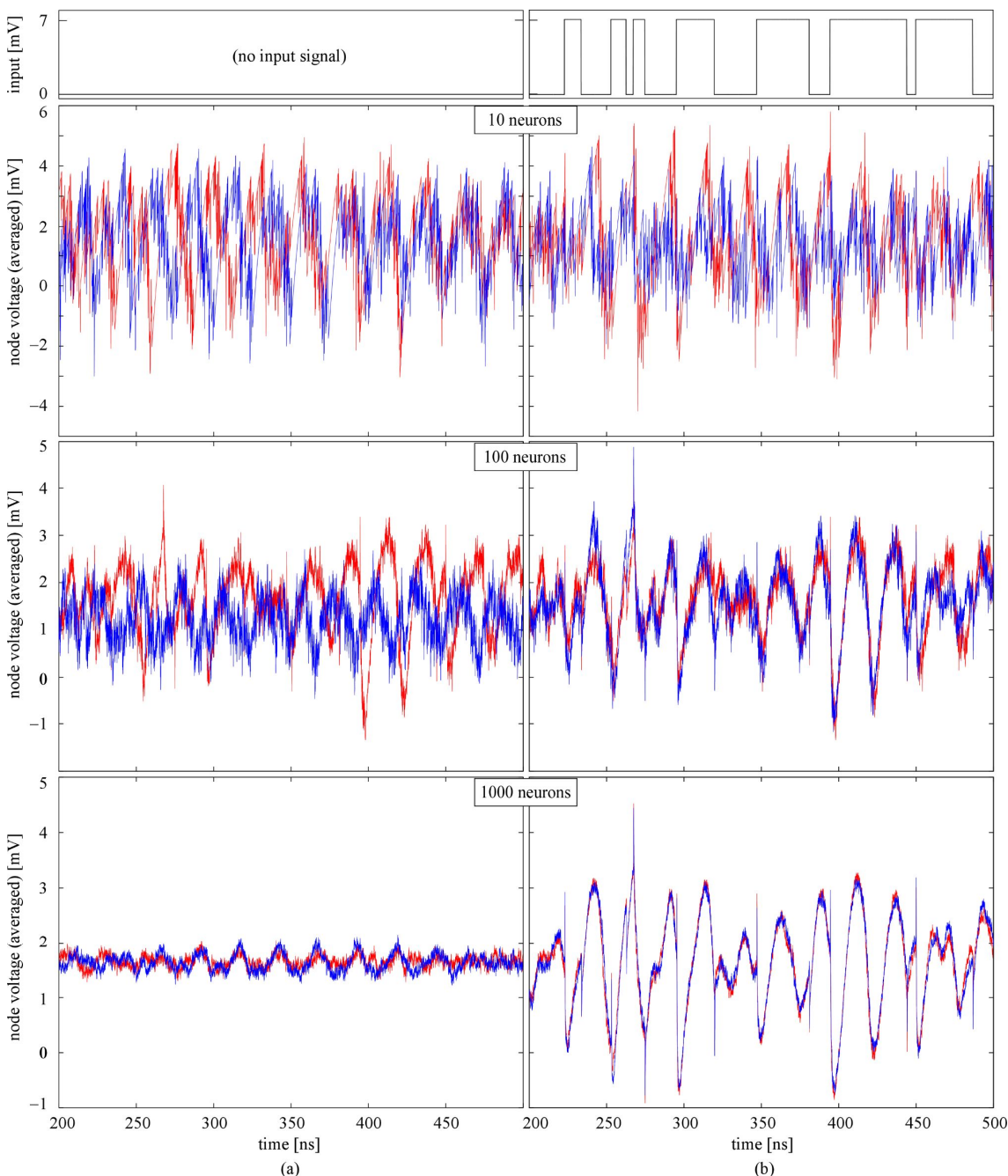


図6 提案単電子 RC 回路の動作シミュレーション。リザーバ部のニューロン（単電子振動子）数が 10 個、100 個、1000 個における入力信号（ランダムテレグラフノイズ様信号）の有無に対する応答。4.2K の温度（熱雑音）環境下かつ素子パラメータが設計値に対して 10% のばらつきを有している条件として実行。リザーバ部のニューロンは近傍のニューロンとの結合はしていない条件。入力有りがかつリザーバ部のニューロン数が 100 個以上（特に 1000 個）において、入力に応じた応答を示している。（本研究の成果として発表した論文より引用）

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Matsuoka Takuya, Oya Takahide	4. 巻 37
2. 論文標題 Design of comb-shaped single-electron slime mold circuit and its application to traveling salesman problem	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems	6. 最初と最後の頁 613 ~ 622
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/17445760.2022.2140341	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 Yamashita Hideto, Oya Takahide	4. 巻 14
2. 論文標題 Design of single-electron information-processing circuit modeled on Boids algorithm of fish shoals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 547 ~ 558
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.14.547	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 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 Kaide Risa, Oya Takahide	4. 巻 60
2. 論文標題 Noise-harnessing single-electron circuit with symmetrical, simple pair circuit structure and application to full adder circuit	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 085001 ~ 085001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac1039	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 Ueno Masaki, Oya Takahide	4. 巻 60
2. 論文標題 Design of a single-electron neural network circuit controlling weights for reservoir computing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SCCE02 ~ SCCE02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe7fe	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 Kurata Nobuhiko, Oya Takahide	4. 巻 10
2. 論文標題 Design of "bubble-inspired single-electron circuit" mimicking behavior of bubble film	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 399 ~ 413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.10.399	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 Oya Takahide	4. 巻 59
2. 論文標題 Feasibility and advantage of reservoir computing on single-electron devices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 040602(7 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab79fc	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80件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 23件)

1. 発表者名 K. Yokoyama, T. Oya
2. 発表標題 Improvement of single-electron information-processing circuit based on principle of molecular computing
3. 学会等名 2024 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 渡邊隼弥, 大矢剛嗣
2. 発表標題 多層八二カム回路を用いた単電子リザーバコンピューティング回路
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 田村啓一朗, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子反応拡散回路における平行波の分岐時の伝搬方向制御の検討
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 石井峻平, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子回路によるプリム法の表現のための重み表現回路
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 水野 創樹, 大矢剛嗣
2. 発表標題 粒子計算に学ぶ単電子論理ゲートの設計
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 宮越遼河, 大矢剛嗣
2. 発表標題 拡散律速凝集モデルの実装に向けた単電子回路によるブラウン運動の表現
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 K. Yokoyama, T. Oya
2. 発表標題 Single-Electron Information-Processing Circuit Inspired by Principles of Molecular Computing
3. 学会等名 Silicon Nanoelectronics Workshop 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Watanabe, T. Oya
2. 発表標題 Performance Improvement of Single-Electron Reservoir Computing Circuit with Multiple-Tunnel-Junction Single Electron Oscillator
3. 学会等名 Silicon Nanoelectronics Workshop 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Tamura, Y. Nakamori, T. Oya
2. 発表標題 Design of New Single-Electron Reaction-Diffusion Circuit with Ability to Generate and Control Plane Waves
3. 学会等名 Silicon Nanoelectronics Workshop 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 S. Watanabe, T. Oya
2. 発表標題 Single-Electron Reservoir Computing Circuit with Online Learning
3. 学会等名 the 2023 TechConnect World Innovation Conference and Expo (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横山海里, 大矢剛嗣
2. 発表標題 分子コンピューティングの原理に学ぶ単電子回路における反応速度表現回路の改善
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊隼弥, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子リザーバコンピューティング回路の学習機能に関する検討
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田村啓一朗, 中森唯斗, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子反応拡散回路における平行波の衝突時の伝搬方向制御の検討
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石井峻平, 大矢剛嗣
2. 発表標題 プリム法に学ぶ最短経路探索手法の単電子回路表現
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 水野 創樹, 大矢剛嗣
2. 発表標題 粒子計算に学ぶ単電子情報処理回路の設計
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮越遼河, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子情報処理回路による拡散律速凝集モデルの表現
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大矢剛嗣
2. 発表標題 自然・生物に学ぶ情報処理手法の開拓と量子・ナノデバイスへの展開にむけた取り組み
3. 学会等名 北陸先端科学技術大学院大学 自然との共感・共生テクノロジー研究センター研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 S. Watanabe and T. Oya
2 . 発表標題 Design of Single-Electron Reservoir Computing Circuit and Evaluation of Its Learning Function
3 . 学会等名 Silicon Nanoelectronics Workshop 2022 (SNW 2022) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 S. Tsukada and T. Oya
2 . 発表標題 Design of Single-Electron Unicursal Curve Drawing Circuit for Solving Undirected Graph
3 . 学会等名 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2022) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Ogawa and T. Oya
2 . 発表標題 Design of a New Information-Processing Single-Electron Circuit Mimicking Behavior of Herd of Wolves
3 . 学会等名 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2022) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 S. Tsukada and T. Oya
2 . 発表標題 Design of signal route switching circuit for single-electron circuit with simple structure
3 . 学会等名 the 35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2022) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Ogawa and T. Oya
2. 発表標題 Improvement of pursuit circuit for single-electron circuit mimicking behavior of herd of wolves
3. 学会等名 the 35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田壮一, 大矢剛嗣
2. 発表標題 アリの挙動に学ぶ単電子情報処理回路における要素回路の熱応答性評価
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 小川 陸, 大矢剛嗣
2. 発表標題 オオカミの群れ挙動に学ぶ単電子回路向け追跡挙動表現回路の改善検討
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 塚田聖司, 大矢剛嗣
2. 発表標題 オイラーグラフの一筆書き動作のための単電子回路の設計
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 横山海里, 大矢剛嗣
2. 発表標題 分子コンピューティングの原理に学ぶ単電子回路のための反応方向決定回路
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 渡邊隼弥, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子リザーバコンピューティング回路でのオンライン学習機能の実装," 第83回応用物理学会秋季学術講演会
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 小林拓史, 大矢剛嗣
2. 発表標題 熱雑音を味方につける単電子シナプス回路の開拓
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 田村啓一朗, 中森唯斗, 大矢剛嗣
2. 発表標題 平行波発生・進行を表現する単電子反応拡散回路の性能向上検討
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 大矢剛嗣
2. 発表標題 自然・生物に学ぶ情報処理手法の量子・ナノデバイスへの実装検討
3. 学会等名 北陸先端科学技術大学院大学 自然との共感・共生国際シンポジウム2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横山海里, 大矢剛嗣
2. 発表標題 分子コンピューティングの原理に学ぶ単電子回路の改良検討
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊隼弥, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子リザーバコンピューティング回路の性能向上検討
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林拓史, 大矢剛嗣
2. 発表標題 熱雑音を味方につける単電子シナプス回路の開拓(2)
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田村啓一朗, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子反応拡散回路における平行波の伝搬方向制御に関する検討
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Sumino, T. Oya
2. 発表標題 Design of new single-electron information-processing circuit mimicking Levy walks
3. 学会等名 Silicon Nanoelectronics Workshop 2021 (SNW 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Oya
2. 発表標題 Information processing nanodevices learning from natural system
3. 学会等名 2021 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Matsuoka, T. Oya
2. 発表標題 Design of comb-shaped single-electron slime mold circuit and its applications to solving travelling salesman problem
3. 学会等名 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Sumino, T. Oya
2. 発表標題 Design of new single-electron circuit for representation of fluid model
3. 学会等名 The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Matsuoka, T. Oya
2. 発表標題 Design of single-electron slime mold circuit and its application to solving travelling salesman problem
3. 学会等名 The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 角野友裕、大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子回路による流体モデルの圧力項表現
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松岡拓哉、大矢剛嗣
2. 発表標題 巡回セールスマン問題を解く単電子粘菌回路の動作性能評価
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 岡田壮一、大矢剛嗣
2. 発表標題 アリの挙動に学ぶ単電子情報処理回路の新設計
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川 陸、大矢剛嗣
2. 発表標題 オオカミの群れの挙動に学ぶ情報処理の単電子回路実装検討
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塚田聖司、大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子回路への一筆書きアルゴリズム実装検討
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中森唯斗、大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子反応拡散回路における平行波の表現
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横山海里、大矢剛嗣
2. 発表標題 分子コンピューティングの原理に学ぶ単電子情報処理
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊隼弥、上野正暉、大矢剛嗣
2. 発表標題 結合強度制御機能を導入した単電子リザーバコンピューティング回路
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田壮一、大矢剛嗣
2. 発表標題 アリの挙動に学ぶ単電子情報処理回路へのシミュレーテッド・アニーリング実装検討
3. 学会等名 第69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 小川 陸、大矢剛嗣
2. 発表標題 オオカミの群れ挙動に学ぶ単電子回路における追跡挙動表現の検討
3. 学会等名 第69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 塚田聖司、大矢剛嗣
2. 発表標題 無向グラフの一筆書き手順を導出可能な単電子情報処理回路の設計
3. 学会等名 第69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 中森唯斗、大矢剛嗣
2. 発表標題 方向自在な単電子平行波発生・進行回路の性能評価
3. 学会等名 第69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 横山海里、大矢剛嗣
2. 発表標題 分子コンピューティングの原理に学ぶ単電子情報処理回路における分子濃度表現
3. 学会等名 第69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 渡邊隼弥、大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子リザーバコンピューティング回路の新設計と学習機能の実装
3. 学会等名 第69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 R. Kaide, T. Shinada, T. Oya
2. 発表標題 Symmetrical, simple pair circuit on single-dopant device with thermal-noise-harnessing ability and its application to a full adder circuit
3. 学会等名 The 20th International Conference on Nanotechnology (IEEE NANO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Yamashita, T. Oya
2. 発表標題 Design of Single-Electron Information-Processing Circuit Modeled on Behavior of Fish Shoals
3. 学会等名 The 33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Ueno, T. Oya
2. 発表標題 Design of Weight Function Controllable Single-Electron Neural Network Circuit for Reservoir Computing
3. 学会等名 The 33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上野正暉, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子デバイスによるダイクストラ法の表現
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 開出理砂、大矢剛嗣
2. 発表標題 素子ばらつきを考慮した熱雑音を利用する単電子メモリ対回路の全加算器応用
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 山下秀人、大矢剛嗣
2. 発表標題 魚群の挙動をモデルとした単電子情報処理回路の設計
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 角野友裕、大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子回路による流体モデル表現
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 松岡拓哉、大矢剛嗣
2. 発表標題 巡回セールスマン問題を解く単電子粘菌回路の検討
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 角野友裕、大矢剛嗣
2. 発表標題 流体の拡散を表現する単電子回路の定量的評価と改善
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

1. 発表者名 松岡拓哉、大矢剛嗣
2. 発表標題 巡回セールスマン問題を解く単電子粘菌回路の改良検討
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

1. 発表者名 小川 陸、大矢剛嗣
2. 発表標題 オオカミの群れの挙動に学ぶ情報処理の単電子回路実装検討
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

1. 発表者名 塚田聖司、大矢剛嗣
2. 発表標題 一筆書きの定理をモデルとした単電子情報処理回路の設計
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

1 . 発表者名 N. Kurata, T. Oya
2 . 発表標題 Design of multi-layer single-electron circuit mimicking behavior of bubble film for solving Steiner tree problem
3 . 学会等名 45th International Conference on Micro & Nano Engineering (MNE 2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Kurata, T. Oya
2 . 発表標題 Design of multi-layer single-electron information-processing circuit mimicking behavior of bubble film for solving nonlinear problem
3 . 学会等名 2019 Silicon Nanoelectronics Workshop (SNW 2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Ueno, T. Oya
2 . 発表標題 Design of learning circuit for single-electron neural networks
3 . 学会等名 2019 Silicon Nanoelectronics Workshop (SNW 2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Kaide, T. Oya
2 . 発表標題 Thermal-noise-harnessing single-electron memory pair circuit and its application to full adder circuit with simple structure
3 . 学会等名 2019 Silicon Nanoelectronics Workshop (SNW 2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Yamashita, T. Oya
2. 発表標題 Single-electron information-processing circuit mimicking behavior of fish shoals
3. 学会等名 2019 Silicon Nanoelectronics Workshop (SNW 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上野正暉, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子リザーバコンピューティングへの結合強度制御回路の検討
3. 学会等名 2020年 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 開出理砂, 大矢剛嗣
2. 発表標題 熱雑音を活用する単電子メモリ対回路を用いた多ビット全加算器応用
3. 学会等名 2020年 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山下秀人, 大矢剛嗣
2. 発表標題 魚群に学ぶ単電子情報処理回路の設計
3. 学会等名 2020年 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 小川 稜, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子デバイスによるインド式計算の表現
3. 学会等名 2020年 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 角野友裕, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子デバイスによる乱流解析
3. 学会等名 2020年 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松岡拓哉, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子粘菌の巡回セールスマン問題への応用
3. 学会等名 2020年 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大矢剛嗣
2. 発表標題 生物に学ぶ新しい情報処理デバイス
3. 学会等名 2019年 第80回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 倉田信彦, 大矢剛嗣
2. 発表標題 シャボン膜の挙動を模倣した単電子情報処理回路の設計
3. 学会等名 2019年 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上野正暉, 大矢剛嗣
2. 発表標題 単電子回路へのリザーバコンピューティングの実装検討
3. 学会等名 2019年 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 開出理砂, 大矢剛嗣
2. 発表標題 熱雑音を利用する単電子メモリ対回路を用いた全加算器の多段化検討
3. 学会等名 2019年 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>横浜国立大学大学院理工学府 大矢剛嗣研究室 研究業績ページ  <a href="https://arrow.ynu.ac.jp/publication.html">https://arrow.ynu.ac.jp/publication.html</a></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
--	---------------------------	-----------------------	----

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