

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：50101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04415

研究課題名（和文）等比的に広範囲レベルの信号検出を可能とする多チャンネルランダムノイズ発生器の開発

研究課題名（英文）Development of a Multi-channel Random Noise Generator Capable of Detecting Signals Across Multiple Orders of Magnitude

研究代表者

高田 明雄 (Takada, Akio)

函館工業高等専門学校・生産システム工学科・教授

研究者番号：40206751

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：非線形現象を利用した多チャンネルノイズ発生器の開発を目的とし、ランダムノイズを発生させる力学系の簡素化およびチップ部品を使った回路の小型化を達成した。また、設定すべき回路パラメータの組み合わせも明らかにした。しかし、同一仕様で製作した回路の中にノイズが発生しないものがあり、その原因究明が困難なため研究の継続は困難と判断された。そこで、研究をノイズが神経細胞の情報伝達に有益に影響を与えている点に焦点を当て、積分発火発振回路のノイズ誘起同時発火現象を研究した。結果として、ノイズが微弱信号検出や信号同期プロセスに果たす役割の理解を深め、新たな神経細胞の特徴を模倣した科学的応用への道を開いた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

力学系の理論研究と応用の両面において新しい知見が得られ、他の複雑系の解析や制御に活用可能な手法を提供した。小型の実用的なノイズ発生器の開発に貢献し、集積回路やポータブルデバイスにおけるノイズの生成の研究に新たな道を開いた。

また、ノイズを加えたシンプルな神経細胞モデル、すなわち積分発火回路のノイズ誘起同期現象は、確率論的に解析することが可能であることを示し、結果としてノイズが信号同期プロセスに果たす役割を解明し、ニューロモルフィック技術への応用・展開を広げた。以上のことは、ノイズ発生への活用が期待される通信、計測、医療機器・ヘルスケアなどの分野で、新製品の開発を促進するものと期待される。

研究成果の概要（英文）：The aim was to develop a multi-channel noise generator utilizing nonlinear phenomena. We achieved the simplification of dynamical systems for generating random noise and miniaturization of circuits using chip components. Additionally, we identified the combinations of circuit parameters to be set. However, some circuits fabricated with the same specifications failed to generate noise, and determining the cause was difficult, making continued research challenging. Therefore, the focus of the research shifted to how noise beneficially affects information transmission in nerve cells, studying the noise-induced simultaneous firing phenomenon of the integrate-and-fire oscillatory circuit. As a result, we deepened our understanding of the role of noise in weak signal detection and signal synchronization processes, opening the way for new scientific applications that mimic the characteristics of nerve cells.

研究分野：非線形電子回路システム

キーワード：電子回路 非線形現象 積分発火回路 ノイズ誘起同期 ホワイトノイズ発生 ノイズスペクトル

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1)人間の指が感知できる mg ~ kg 重の範囲の力の検出を一種類のセンサで代用させることは極めて難しい。また、ノイズに埋もれかけている微弱信号の検出には、一般的に高倍率の増幅が必要であることに加え、信号からノイズ成分を除去するための試行錯誤を伴うフィルタリング処理を要する。

(2)一方、感覚細胞のように信号の有無しか判定できないような単純なセンサに、確率共鳴現象 (SR: stochastic resonance) を利用すれば、増幅なしでの高感度な信号検出が可能になると考えられる。実際、感覚細胞や神経細胞は周囲のノイズを利用するだけで、それぞれ信号の検出や信号伝達を正確に行っている。しかしながら、SR を応用する場合、被検出信号の大きさに応じて印加ノイズ強度を最適化しなければならないという最大の弱点がある。

(3)これを回避、すなわちノイズレベル調節フリーな回路を実現するには、少なくとも数百以上の互いに独立 (無相関) なランダムノイズ源が必要となる[1]。そこで、本研究ではカオスの初期値敏感性および予測不能性を利用すれば、互いに相関のないランダムノイズの発生[2]が同一仕様の回路で実現でき、かつ低価格化や回路の小型化が可能と考えられた。

2. 研究の目的

(1)多チャンネル・ランダムノイズ発生器の開発を目的とし、微弱信号検出用のランダムノイズの効果的な発生方法とそれを可能にする回路設計技術を提案する。

(2)原理としては、位相同期ループ (PLL) を本来の使用法とは全く真逆な『位相同期させない』という常識にはない使い方をし、力学系の再設計に基づいた回路のさらなる簡素化を進める。

(3)微小電力で動作する神経回路に代表される人工脳における確率的な情報処理を適正に行うための励起信号 (環境ノイズ) [3]としても、発生させたノイズを利用可能にする。

3. 研究の方法

(1)製作した回路のパラメータを変えホワイトノイズをロバストに発生させる設計条件を見出し、得られるノイズの統計学的な性質 (自己相関関数、ヒストグラム、パワースペクトル) に基づいてランダム性等の品質を保证する。

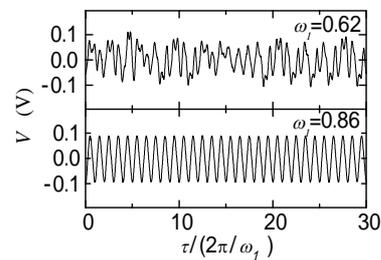
(2)基本特許技術[4]の力学系 (洗濯板モデル) に含まれる系の駆動関数を意図的に再設計し、PLL の駆動信号発生部を簡単化する。また、チップ部品を使って回路を小型化する。

(3)多チャンネルのランダムノイズ発生回路の製作・性能評価を行うため、同一仕様で設計された PLL 回路を複数個製作し、それらを同時駆動し、全ての回路からランダムノイズが出力されることを実証する。さらに、SR のユニットとなるノイズソース・しきい素子のペア数を増やし、信号検出感度が入力ノイズレベルに依存しない (ノイズ調節フリー設定) になることを検証する。ここで、この項目 (3) については研究計画上に解決困難な問題 [詳細は後述する] が生じたため、神経細胞が微弱信号を検出した後にノイズを利用し情報伝達するメカニズムの工学的応用を目指し、以下 (4) について実施することにした。

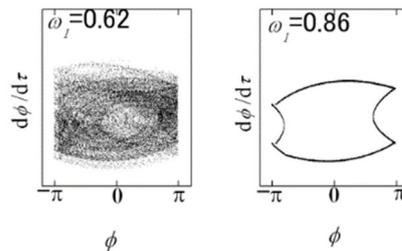
(4)神経細胞の発火現象をモデル化した積分発火回路のノイズ誘起同期について、加えるノイズの役割やシステム設計上の重要な点を明らかにする。その具体的研究方法として、パラメータにミスマッチがあり、互いに結合していない二つの積分発火回路に対し、共通したランダムノイズ由来の信号を加え、同時発火現象について考察するものである。これは、ノイズによる信号の情報伝達を高効率で行うスキーム開発のための基盤作りになる。

4. 研究成果

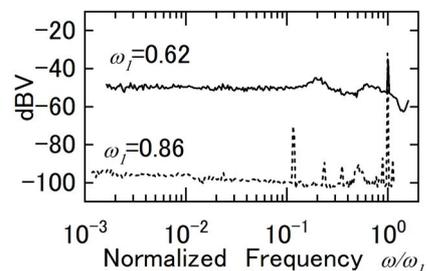
(1)本研究では、PLL 回路を用いてカオス的発振を誘発し、ランダムノイズ (RN) を安定して生成する



(a)電圧の時間変化



(b)位相平面



(c)パワースペクトル

図1 外部信号振幅 ($a=0.46$ 一定), 周波数 (ω_1 : 0.62 and 0.86), 摩擦の強さ ($\sigma=0.1$) の組み合わせで得られた2種類の発振。

方法を探索した。用いたシステム (PLL 回路) は外部信号の振幅 a と周波数 ω_1 、および減衰係数 σ のパラメータの組み合わせによって、その出力が周期的、準周期的、そしてランダム (カオス的) に変わる。それ故、ホワイトノイズとして特徴づけられるカオス的ランダム発振の回路パラメータ依存性を広範囲に調査した。実験的に得られた周期的およびランダムのそれぞれの発振の例を図 1 に示す。この図において、(a) は電圧の時間変化、(b) は位相平面 (電圧とその時間微分を X-Y プロットしたもの)、(c) はパワースペクトルを示している。同図では 2 種類の ω_1 (PLL を外部から駆動する信号の周波数) で得られた結果を示しており、 $\omega_1=0.62$ の場合にはランダム発振が得られ、 $\omega_1=0.86$ の場合には周期的な発振となっている。これは、同図(a)の発振波形の不規則的な変化と周期的な波形の違い、同図(b)の空間が塗りつぶされる位相平面に対して、一本の軌道を周回するリミットサイクル、また、同図(c)の広範囲にわたるランダムノイズ特有の周波数成分からも明らかである。以上をまとめたものを表 1 に示す。

図 2 にランダム発振が得られたパラメータ領域の調査結果を示す。パラメータとして、減衰係数 σ を 0.1 に固定し、2 種類の駆動信号振幅、すなわち (a) $a=0.46$ 、および (b) $a=1.2$ について、駆動信号周波数 ω_1 をほぼ連続的に広範囲で変化させた。理論的には $1 < \omega_1$ が成立する比較的高い ω_1 の領域では周期的な発振のみが得られることが予想されたが、実験結果は概ねその妥当性を示していた。ただし、低域の ω_1 では、理論的予測が不可能であるため、調査が必要となる。同図より、力学系として用いた洗濯板を駆動する場合に、大きな振幅を設定すると広い ω_1 の範囲においてカオス的発振が得やすいことがわかった。

また、その他のパラメータを広域で変化させて調べた結果として、外部信号の振幅と周波数はホワイトノイズの発生に敏感に影響し、減衰係数はカオス現象の発生に緩やかに作用することがわかった。加えて、位相平面のリアルタイム観察を用いるとランダムノイズの発生を判定できるという簡易的な発振形態の判別方法も見出した。カオス的発振を力学系の分岐現象の研究から理論的に予測することが困難であることが知られているため、この方法は有効なものと考えられる。すなわち、ランダムウォークの発生を実験的に簡易な方法で判別できる。図 3 は様々な駆動周波数 ω_1 の値で得られたランダムノイズのパワースペクトルの周波数依存性 (黒線) を表している。

表 1. 発振の特徴 (図 1 の結果)

ω_1	(a) 電圧波形	(b) 位相平面	(c) パワースペクトル	発振形態
0.62	不規則	空間が点で塗りつぶされている	広帯域で一定のパワーが観測	ランダム
0.86	周期的	ループ状 (リミットサイクル)	特定の周波数成分が出現	周期的

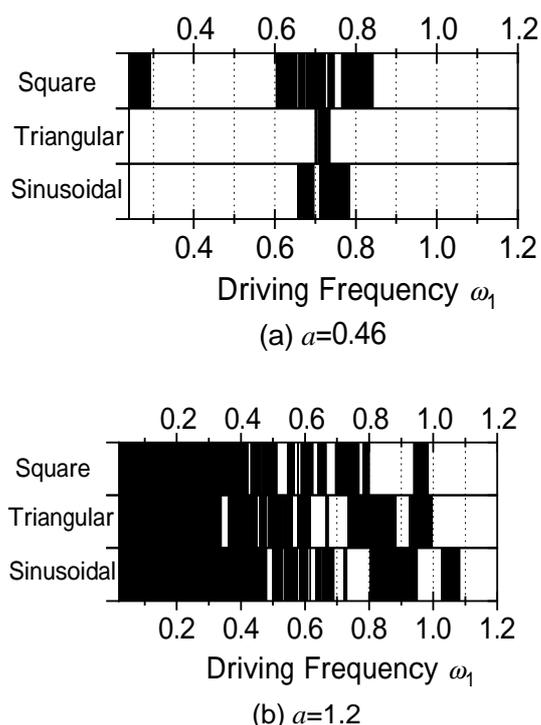


図 2. ランダム発振が得られる駆動周波数 ω_1 の領域 (黒塗り部分)。他のパラメータとして、駆動信号振幅 $a=0.46, 1.2$ 、および減衰係数 $\sigma=0.1$ 一定としている。

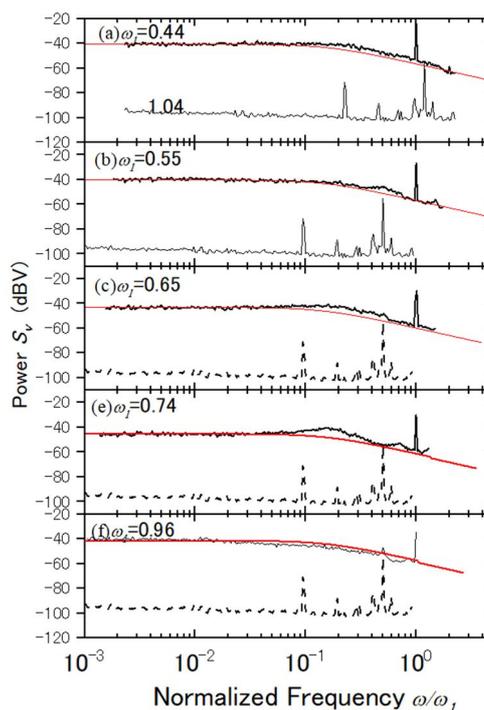


図 3. 実験的に得られたノイズスペクトル (黒線) と電気回路モデルから予測されたスペクトルの周波数依存 (赤線)

同図の赤線は、ホワイトノイズ発生が『カオス現象によって等価的に回路内に生じるホワイトノイズ源』によるものと仮定した電気回路モデル(図3)で得られた結果であり、非線形現象に基づいて発生させたノイズスペクトルの周波数依存性を単純な回路モデルで説明できることを明らかにした。また、得られるホワイトノイズの帯域についても理論的に予測できることを明らかにした。

(2) ノイズ発生器の小型化を目的として、回路の力学系(回路動作を決定する非線形微分方程式)の中で、正弦関数項を方形波に置き換え、洗濯板モデルを一部変更した枠組みで回路を再設計し、その方法でもホワイトノイズの発生が可能であることを確認した。これは、ノイズ発生器システム全体の構成をより簡単化できたことを示すものである。次に、さらなる回路の小型化を進めるため、チップ部品を使用したノイズ発生回路用基板の製作を行った。結果として、回路面積をプロトタイプの約 1/4 と大幅に削減できたが、回路製作後のパラメータの微調整や動作確認用の測定機器との接続の容易さを考慮すべきところは回路小型化の対象から除外した。しかしながら、製作した一部の回路からはノイズの発生が確認できなかった。その原因として考えられたのは回路内の不良であるが、回路の小型化に伴うチップ部品の高密度のはんだ付けによって、肉眼では外見から見つけにくいのはんだ不良を特定するための電氣的な確認作業がこの問題解決を大幅に難航させた。

結果として、追加製作したノイズ発生器ユニットの中に動作しないユニット、あるいはカオスの発振が突然停止する現象も確認された。この問題の解決については、回路が微細化されたこともあり、原因特定が極めて困難になることがわかった。すなわち、当初の計画通り同一仕様の回路設計はカオスを原理としたホワイトノイズ発生器の多チャンネル化に有利ではあることには変わらないが、同時に弱点にもなり得ることがわかった。すなわち、使用した半導体素子の特性や受動部品の値のわずかなバラつきが回路全体のパラメータの値を最適値から逸脱させた可能性がある。これは本計画遂行上極めて深刻な事態と考え、本計画の一部を以下(3)および(4)の通り変更することとした。

(3)本研究では確率共鳴現象を応用し、微弱な信号をランダムノイズの力を借りて検出する高感度なセンシング技術の基礎を確立することである。一方、ヒトの指の体制知覚は神経細胞の刺激検出と神経細胞間の情報伝達機能によるものであることを考えると、信号検出のセンサ部には神経細胞のモデルに相当する回路を設置することが好ましいのではないかという仮説が成り立つ。

そこで、ノイズソースの開発から方向転換し、神経細胞の簡単なモデルとして知られる積分発火型回路のノイズ誘起同期現象について実験および数値シミュレーション両方の手法で考察した。従来研究ではノイズ印加により、積分発火回路の同期が促進される効果がある反面、逆にノイズによって非同時の発火が生じることが懸念されていた[5]。一方、実際の神経細胞は発火直後から一定期間、入力の有無にかかわらず発火しない性質、すなわち『不応期』が存在する。そこで、本研究では、その不応期に相当する『不感帯』を積分発火回路に実装した。そこで、その不感帯(発火直後から回路の発火が停止する時間幅)を変化させて、2つの積分発火回路が同期する割合を調べた。その結果を図4に示す。横軸には回路の自走発振周期で規格化した不感帯幅、縦軸には同期割合を示している。また、シミュレーションにはホワイトノイズを用い、実験ではホワイトノイズおよび有色ノイズを用いた。総じて不感帯幅が回路の自走発振周期の約5~9割の場合に、同期する割合が急激に増加することを明らかにした。これは不感帯の効果を実証するものである。結果として、2つの積分発火型回路間のノイズ誘起同期性能は、複数存在する回路パラメータのミスマッチの度合いに大きく依存することを明らかにした。本研究では先行研究[5]において不十分と考えられる同期の判定基準を見直し、その基準を新たに設定、すなわち2つの回路の同時発火が位相軸上で 2π [rad] に比べて無視し得るほどの小さな差、すなわち $1/2000$ [rad] 以下の範囲での発火という条件に変更したが、その際の設定した許容範囲に無関係に不感帯の効果を確認することができた。すなわち、同期の判定基準(どの程度の時間差が同時発火とみなせるか)によっても不感帯の有効性は変わらないことについても明らかにした。図5(a)は2つの回路の発振波形を示し、発火のタイミングを位相 θ で見た場合、その差 θ_a が設定した基準以下であれば『同時発火』とみなすという基準値の定義を示している。同図(b)は、 θ_a が 7.2° であっても 0.36° であっても、同期割合という観点からは、不感帯の効果として大差がないことを示している。

一般的に確率共鳴現象を利用したセンシングでは、センサがしきい値を超えた場合の入力に応答するという単純なものであるが、積分発火型回路を用いるとセンサ入力を時間積分・積算できるため、ヒトの指の体制知覚を模倣した実際のシステム構築に有用な回路設計が可能になると考えられる。

(4)積分発火型回路のパラメータミスマッチとして、自走発振周波数以外にも、不感帯幅のミス

マッチ、発火しきい値のミスマッチ等いくつか考えられる。本報告では割愛しているが、これらのいずれもノイズ印加による同期に影響を与えることを数値シミュレーションおよび実験から明らかにした。

本研究では、主にノイズ誘起同期には一般的に好ましくないとされるランダム性の高いホワイトノイズを意図的に用いた。これを用いることによって、ノイズを回路の発火しきい値にトリガパルスとして変換した場合、そのパルス間隔を確率的に調節するのが容易になる。これによって、外部から回路に加えるノイズが確率的にどのように2つの回路の同期に関与し、その結果どの程度の同期割合が得られるのかを理論的に予測でき、実際にそれに基づく数値シミュレーション結果が実験結果をよく説明することを明らかにすることができた。

以上の結果は、神経細胞の特徴を工学的に応用するニューロモルフィックという観点からも、ノイズを利用した微弱信号検出や、省エネルギー情報伝達を人工的に実現する技術の発展に寄与するものであると結論付けられる。

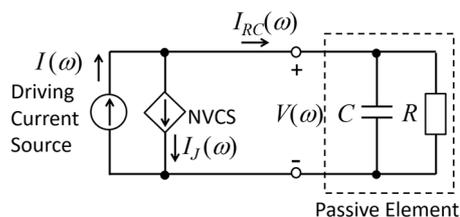
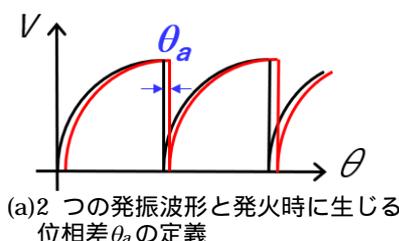


図 3. ホワイトノイズ発生時の電気回路モデル



(a) 2つの発振波形と発火時に生じる位相差 θ_a の定義

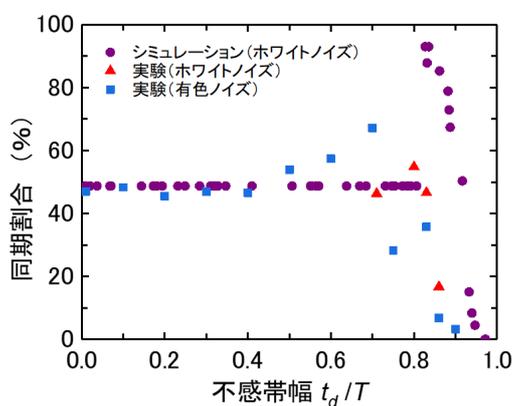
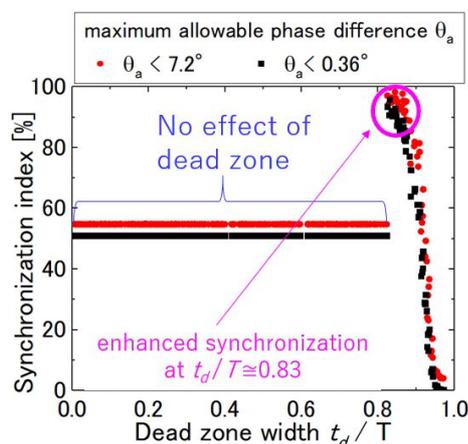


図 4. 不感帯幅を変えた場合の積分発火型回路の同期割合



(b) 同期割合の不感帯依存性

図 5. 同時発火の判定基準が同期割合に与える影響

<引用文献>

[1] J. J. Collins et al., Nature 376, 2002.,
 [2] 高田, 電子情報通信学会研究技術報告 NLP, 105(277), 2005.
 [3] B.J. Glukman et al., Phys.Rev.Lett. 77, 1996.
 [4] 高田, ノイズ発生器, ノイズ発生方法およびノイズ応用機器, 特許 4843798 号, 2011.
 [5] Kawamata and Tsubone, The 2018 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 中山翔太, 高田明雄, 坪根正	4. 巻 CAS2022-32, NLP2022-52
2. 論文標題 不規則間隔パルスで誘起される不感帯付き積分発火型発振回路の同期現象に関する考察	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会研究技術報告	6. 最初と最後の頁 65-70
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 中山翔太, 高田明雄, 坪根正	4. 巻 CS2022-83
2. 論文標題 共通不規則トリガパルスを有する二つの積分発火型発振回路の同期現象に関する同時発火確率の考察	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電子情報通信学会研究技術報告	6. 最初と最後の頁 59-64
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 Akio Takada, Shota Nakayama, and Tadashi Tsubone	4. 巻 -
2. 論文標題 A numerical study of simultaneous firings in integrate-and-fire circuits with common trigger pulses transformed from white noise	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of The 11th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2023	6. 最初と最後の頁 91-95
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 Takada Akio	4. 巻 -
2. 論文標題 White Noise Spectra Obtained in a Phase-Locked Loop Operating Like a Josephson Junction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISCAS.2019.8702615	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17件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 中山翔太, 高田明雄, 坪根正
2. 発表標題 簡素な積分発火型発振回路のホワイトノイズによる位相同期
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Nakayama, A. Takada, T. Tsubone
2. 発表標題 Numerical simulation of the effect of setting conditions on noise-induced synchronization of integrate-and-fire oscillators with dead-zone circuits
3. 学会等名 Chitose International Forum on Science & Technology (CIF22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中山翔太, 高田明雄, 坪根正
2. 発表標題 積分発火型発振回路のノイズ同期現象に関する考察 発火しきい値に差がある場合
3. 学会等名 令和4年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中山翔太, 高田明雄, 坪根正
2. 発表標題 不規則間隔パルスで誘起される不感帯付き積分発火型発振回路の同期現象に関する考察
3. 学会等名 電子情報通信学会 回路とシステム研究会 (CAS) / 非線形問題研究会 (NLP)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Nakayama, A. Takada, T. Tsubone
2. 発表標題 Synchronization characteristics of integrate-and-fire oscillators induced by a common signal generated from white noise
3. 学会等名 7th STI-Gigaku2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中山翔太, 高田明雄, 坪根正
2. 発表標題 共通不規則トリガパルスを有する二つの積分発火型発振回路の同期現象に関する同時発火確率の考察
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中山翔太・高田明雄・坪根正
2. 発表標題 回路パラメータにミスマッチのある積分発火型発振回路における共通ノイズ印加による同時発火現象に関する考察
3. 学会等名 電子情報通信学会 回路とシステム研究会 (CAS)/ コミュニケーションシステム研究会 (CS)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Akio Takada, Shota Nakayama, and Tadashi Tsubone
2. 発表標題 A numerical study of simultaneous firings in integrate-and-fire circuits with common trigger pulses transformed from white noise
3. 学会等名 The 11th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高田明雄
2. 発表標題 振り子システムにおけるカオスの発振のノイズ成分に関する考察
3. 学会等名 電子情報通信学会 2021年 ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中山翔太（函館高専），高田明雄（函館高専），坪根正（長岡技科大）
2. 発表標題 ノイズを共通信号とした二つの積分発火型発振回路の同期に関する考察
3. 学会等名 第 57 回 応用物理学会北海道支部, 第 18 回 日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中山翔太（函館高専），高田明雄（函館高専），坪根正（長岡技科大）
2. 発表標題 不感帯のある簡素な積分発火型発振回路のノイズ誘起位相同期
3. 学会等名 電子情報通信学会 2022年総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高田明雄， 坪根 正
2. 発表標題 周期的強制外力によって駆動された振り子システムにおけるカオスのランダム発振のスペクトル
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akio Takada
2. 発表標題 White Noise Spectra Obtained in a Phase-Locked Loop Operating Like a Josephson Junction
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Circuits and Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S.Hatazawa, A.Takada, T.Tsubone
2. 発表標題 Noise-induced synchronization of integrate-and-fire circuits by a simple method
3. 学会等名 8th STI-Gigaku 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y.Kinoshita, A.Takada, T.Tsubone
2. 発表標題 Design and fabrication of a piecewise constant oscillator
3. 学会等名 8th STI-Gigaku 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 畑澤 悟志, 高田 明雄, 坪根 正
2. 発表標題 積分発火型発振回路の簡易的なノイズ誘起同期の試み
3. 学会等名 令和5年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木下 裕季菜, 高田 明雄, 坪根 正
2. 発表標題 OTAを用いた区分定数発振回路の動作試験
3. 学会等名 令和5年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2023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
研究協力者	遠藤 哲郎 (Endo Tetsuro)		

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