様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　７ 年　 ６ 月 ２５ 日現在

機関番号：１４４０１
研究種目：基盤研究(A)（一般）
研究期間：2020～2023
課題番号：２０Ｈ００６０６

研究課題名（和文）網膜と視覚野の情報処理と通信に学んだ脳刺激型人工視覚の開発

研究課題名（英文）Artificial Vision

研究代表者
八木　哲也（Yagi, Tetsuya）

大阪大学・国際医工情報センター・招へい教授

研究者番号：５０１８３９７６

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　34,100,000円

研究成果の概要（和文）：脳刺激型人工視覚（以下人工視覚）は、失明者の視覚野を頭蓋骨下に移植された体内装置により電気刺激することで、視覚機能の一部を再建する未来の失明治療法である。現在研究されている既存の人工視覚は、デジタル画像処理・通信技術を軸としてデザインされ、移植装置の消費電力、発熱などの問題により、臨床適用に値する視覚レベルを再建する展望に乏しい。本研究では、生体の網膜-視覚野神経系の情報処理と通信に学んだアーキテクチャとアルゴリズムに基づく、新しい人工視覚（ニューロモーフィック人工視覚、略してNM人工視覚）を提案した。NM人工視覚を一部電子回路化に実装し、人工視覚としての有効性をシミュレーションにより示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
センサーやコンピュータと脳神経ネットワークを、集積電子デバイスを介して直接交信させる技術（ブレインインコンピュータターフェース、略してBCI)は、失われた脳機能の再建治療のみならず、未来の情報通信手段としても注目されている。しかしながら現在のBCIは基本的に逐次デジタル信号処理・通信の技術をベースとして設計されており、脳神経ネットワークとの相性がよ悪いのみならず、完全埋植型BCIでは、電力供給や発熱という問題がある。本研究で示した人工視覚は、視覚神経の構造と計算アルゴリズムを取り入れ、これらの問題を軽減しBCI設計に新たな指針を与える。加えて新しい画像情報の処理・通信法としても応用できる。

研究成果の概要（英文）：The artificial vision with cortical micro-stimulation is a future clinical treatment to partially restore vision in blind people with the aid of electrical devices implanted under the scalp. The artificial vision models developed so far have been designed based on conventional digital image processing and communication technologies, confronting with excessive power and heat dissipation. To overcome this problem, we propose a novel design of the artificial vision that inspired by an architecture/algorithm of computation and communication in the visual neuronal networks of the retina and the primary visual cortex (this design is referred to as neuromorphic artificial vision). We partially implemented the architecture/algorithm with integrated circuits and confirmed the low power operation of the NM artificial vision. The feasibility and usefulness of the NM artificial vision with regard to clinical application were demonstrated by real time simulation of expected phosphene patterns.

研究分野：生体医工学

キーワード：視覚再建　人工視覚　視覚野電気刺激　ニューロモーフィック　画像処理　画像通信　低消費電力　光覚シミュレーション

１．研究開始当初の背景

集積電子回路技術の発展と脳神経生理学の理解に伴い、人間とコンピュータを直接接続する体内埋植型の神経インターフェイスの開発研究が本格的に展開されてきている。この中でコンピュータからの信号を、神経組織に移植された刺激電極によって伝達するコンピュータブレインインターフェース（CBI)は、すでに人工内耳(Cochlear Implant)という臨床適用もされている成功例もある(一般向け解説として[1])。

こうした背景から、損傷を受けた視覚神経系を人工視覚デバイスによってバイパスし、失われた視覚を部分的にも再建する視覚再建治療、すなわち人工視覚の研究開発も世界的に盛んになってきた。人工視覚には、主に網膜を電気刺激するものと脳視覚野を刺激するものがある。脳刺激型人工視覚は、視覚野より末梢の視覚系組織（例えば網膜）の変性、損傷に対しても広く応用可能であり、また電極を埋め込む面積が広いため再建される視覚のレベルが高いことが期待される（解説として[2]など）。しかしながら、人工視覚は人工内耳と異なり、時々刻々と変化する２次元画像情報を視覚系組織に伝達しなければならず、取り扱う情報量は人工内耳の比ではない。現状では、動物実験や限られた数の電極を用いた臨床実験にとどまり、物体認識やナビゲーションなど失明者のQO(Quality of Life)向上に見合う“有益な視覚”を再建する治療としての見通しは未だついていない。

２．研究の目的

図１は一般的な脳刺激型人工視覚（以下人工視覚と略す）の構成図である。人工視覚は視覚センサーによって取得した視覚情報を、体外装置によって処理した上で、頭蓋骨下に移植された体内装置に送る。体内装置は送られた画像情報に従って視覚野脳表に設置された多点電極を駆動して視覚野を電気刺激する。この刺激によって、失明者は刺激部位に対応した視野位置にスポット状の光感覚（光覚）を知覚する。結果的に失明者は、外界の視覚情報に応じた光覚パターンを介して、視覚機能を部分的に回復することが期待される。当然のことながら、この人工視覚治療を実現するためには、工学、生理学、認知科学、臨床医学から診た大きな課題が横たわっている。こうした課題の中で最も重要なもののひとつが、頭蓋内に移植可能な体内装置の実現である。工学的な側面からは体内装置は小型、低消費電力、安定動作などが強く要求される。前節の背景で述べたとおり、人工視覚は人工内耳にくらべ桁違いの情報処理・通信が必要とされるため、これらの要求のハードルは高い。従来の人工視覚は、近年の集積回路技術の発展に従って、CMOS イメージセンサーを視覚入力部とした逐次デジタル画像通信技術に基づいて設計されてきた。しかしながら、従来のデジタル画像処理手法の単なる流用では、人工視覚は失明者にとって QOL 向上に有益なレベルの視覚を再建することは困難であると我々は考えている。脳神経系の情報表現、情報処理の特性がことなることに加え、もともと逐次デジタル演算が視覚情報処理を不得手としているからである。

本研究グループは上記の問題を解決する方法として、生体視覚系の特徴に注目した。網膜は非常に効率的に外界の画像情報を実時間処理し、出力である視神経によってその圧縮された情報を視覚野に伝達する。この信号伝達は、驚くほど低い周波数のパルス状の信号（活動電位またはスパイク）によって実行されている。網膜が視覚野をこのスパイクによって“刺激する”ことによって視覚が発現すると考えれば、網膜の処理と通信の特性を模倣したデザインで人工視覚を設計することは、自然かつ合理的であると想像される。実際本グループの研究も含めた過去の生理学的知見から、網膜が脳に送る信号は、視神経全体で平均毎秒数 M（メガ）スパイク程度であると言われている。

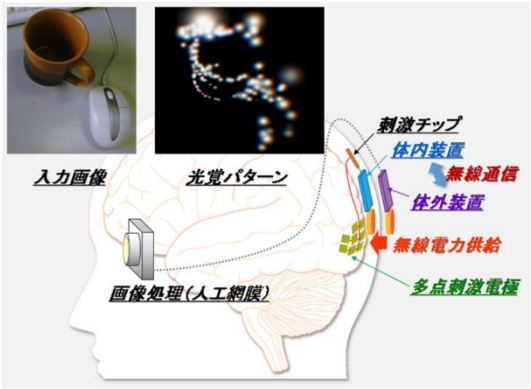

図１.人工視覚の構成.

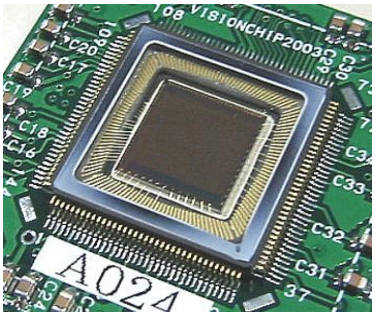

図２.NM 網膜チップ

本研究グループでは長年生体網膜の情報処理と情報表現の解析に携わり、さらにこの解析結果に基づき、網膜の情報処理の一部を模倣したアナログ集積視覚センサー（以下ニューロモーフィック網膜、略して NM 網膜）を開発している[3]。これを図２に示す。本研究の目的は、この NM

網膜を応用して、網膜の情報処理と通信の様式を取り入れた全く新しい人工視覚デザインを考案し、その有効性・実現性を、集積化を前提とした実装回路によって示すことである。

３．研究の方法

本研究では、網膜が時々刻々と変化する外界の光景をどのように処理・符号化し、脳へと伝達するのかを工学的に解析・理解した上で、脳視覚系を模倣した超低消費電力で動作する人工視覚のデザインを確立する。またそのプロトタイプを作成し、有効性を示す。この人工視覚を NM 人工視覚と呼ぶ。

今回開発を目指す NM 人工視覚は、１）視覚情報を実時間処理するＮＭ網膜、２）ＮＭ網膜の２次元スパイク出力を圧縮コード化し、頭蓋内に埋植された体内装置に無線通信する体外装置、および３）体外装置から送られた信号に従って脳表面にセットされた多点電極を駆動し視覚野を電気刺激する体内装置、の３つの部分から構成される。加えて研究ではこの人工視覚の有効性、すなわち失明者にとって有益な視覚を再建するポテンシャルを有すること（ここでは失明者のナビゲーション支援ができること）を示す必要がある。そこで本研究では、以下の４課題を実施計画として設定した。

１）網膜の効率的な視覚情報の処理と符号化・通信の特徴を、工学的な視点から理解する。
２）視神経機能を模倣する NM 網膜を開発する
３）NM 網膜を用いた NM 人工視覚が惹起する光覚パターンの解析と心理物理実験により、人工視覚の性能を予測する
４）前臨床試験ステージとして動物実験用の NM 人工視覚を完成させその性能を評価する。

４．研究成果

前節の研究の方法で示した４つのアプローチにから得られたそれぞれの成果を以下に記述する。

4-１．網膜の視覚情報処理・通信の理解

マウスの剥離網膜を用いて、様々な視覚刺激に対する神経節細胞（視神経）のスパイク応答を多点電極による生理学実験により計測し（図３）、人工視覚応用への利点に注目しながら工学的な解析を行った。図４は、剥離網膜にネコの顔の画像を提示し、OFFα型と呼ばれる網膜神経節細胞（視神経）の応答を計測したものである。ネコの画像をいくつかの定位置にシフトさせながら繰り返し計測を行った。中段の写真は、神経節細胞の受容野近傍の部分画像を示し、下２段のグラフは各位置の局所画像に対する応答のラスタープロット(各 10 回の繰り返し刺激に対する応答を刺激時刻にロックして縦に並べてある)である。OFFα型細胞は、光刺激に対して比較的高周波で応答することが知られているが、自然画像を提示したときは極めて低い周波数のスパイクで応答していることが確認できる。連続するビデオ画像に対する応答も同様である。すなわち、網膜が視覚野に送っているスパイクの時間密度は、平均的には DVD 再生などで用いられるものと比較して１から２桁程度低いことが分かった（加えて DVD 再生には画像圧縮・復元のデバイスが必要で消費電力は人工視覚に全く見合わない）。以上は本グループの人工視覚デザインの有効性を強く支持するものである。

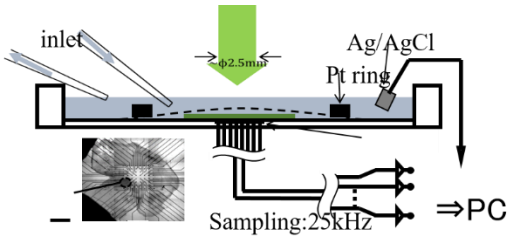

図３. 生理学実験. 剥離網膜(点線)から多点電極を用いて、視神経から応答を記録した。刺激は顕微鏡を通して行なった.

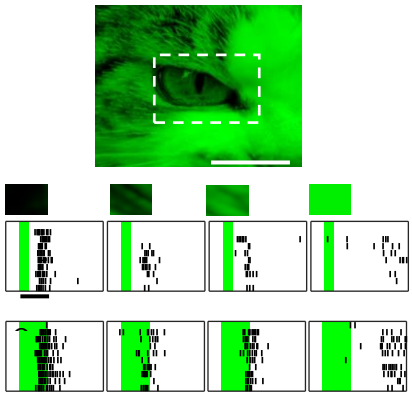

図４. ネコの像で網膜を刺激した時の視神経の応答. 詳細は本文

4.2　スパイク NM 網膜の開発

NM 人工視覚の要の一つが、ＮＭ網膜である。そこで過去の我々の研究で開発した、外網膜神経回路を集積回路化したアナログチップと FPGA(Field Programmable Gate Array)を組み合わせたＮＭ網膜に修正を加え、生理学実験から得られた網膜視神経の応答をフレキシブルにエミュレートできる NM 網膜を開発した。図５の上段は、中段の光強度をランダム変調した刺激に対する NM 網膜の応答である。また下段は実際の OFFα型視神経の応答である。NM 網膜は実際の視神経の応答をよく模擬できている。ここで応答が間欠的であることが見て取れる。すなわち網膜から脳への通信は特定の刺激フェイズに対し間欠的に行われていることを示唆する。図６はこの

応答の ISI(Inter Spike Interval)のリターンマップである。ここでは先行スパイクとの ISI を横軸、後続スパイクとの ISI を縦軸にプロットした。上図は NM 網膜、下図は生理学実験で得られた応答のものである。ここでも NM 網膜は実験をよく再現する。以上のように改良された NM 網膜では、FPGA 上のパラメータを調整することによって、様々な型の視神経応答をエミュレートできる。

NM 網膜の集積化を目指して、スパイク発生部の回路考案し、入出力を Spice により解析した。基本回路は分担者である廣瀬のモデルを用いた。回路のパラメータを調整することにより、所望のスパイク応答が得られることがシミュレーションできたが、回路で要求されるキャパシタ値で実装するためには大きなチップサイズ必要となり、予算上の問題もあり、実際にチップ化するまでには至らなかった。集積回路化を進めるためには、回路をさらに工夫してキャパシタ値を下げる必要がある。

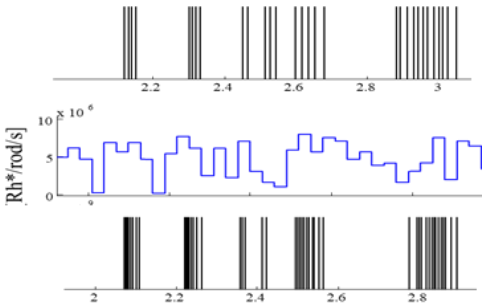

図５. 網膜と NM 網膜応答の比較. 上段は NM 網膜、下段は視神経の応答. 中段は光刺激.

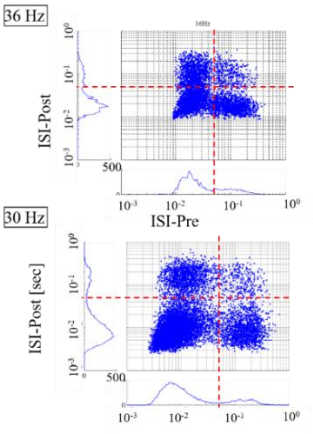

図６. ISI リターンマップ. 上段は NM 網膜、下段は視神経. 視神経の特徴的パターンが再現されている.

4.3　NM 網膜が惹起する光覚パターンのシミュレーション解析

本人工視覚の実現性を示すために、NM 網膜の出力に従って１次または２次視覚野を電気刺激した場合に、失明者に対し有益な視覚を再建できるかを評価する必要がある。そこで NM 人工視覚を用いた場合に惹起されると予想される光覚パターンを、仮想脳表上の電極配置を変化させながら、実時間で液晶ディスプレイ(LCD)またはヘッドマウントディスプレイ(HMD)に表示するシミュレータを開発した。図７において上段の左図は NM 網膜に入力する風景、右図はシミュレータによって計算された光覚パターンである（実際はビデオ画像)。光覚の視野内での位置は、ヒト視覚野の皮質-視野マップに関する過去の解剖学、生理学の文献基づき、脳表での電極配置から計算した。光覚の形、大きさ、位置の揺らぎは、過去の臨床試験での報告と本研究において実施した電位感受性色素を用いた動物実験をもとに表現した。光覚の時間特性は NM 網膜の出力から計算している。このシミュレータを用いて、脳表の電極数、位置、配置パターンを変えながら、再建される視覚による物体認識レベル、有効性を心理物理実験により解析した（図８)。その結果、ナビゲーション支援においては、半側視覚野ごとに最低 1000 極程度の電極が必要であると結論した。この値は、単純に LCD 上で光覚密度パターンを描画して認識実験を行った過去のデータと同等である。すなわち NM 網膜の少ない時間スパイク密度で視覚野を刺激しても、現状の人工視覚と同等の視覚レベルを達成できることを示唆する。さらにシミュレーション実験から、１次および２次視覚野においては、中心野領域には低密度、周辺野領域には比較的高密度で電極を配置し、かつ中心野の刺激電流強度を上げて光覚を大きくすることによって、ナビゲーション支援をより効果的にできることが分かった。

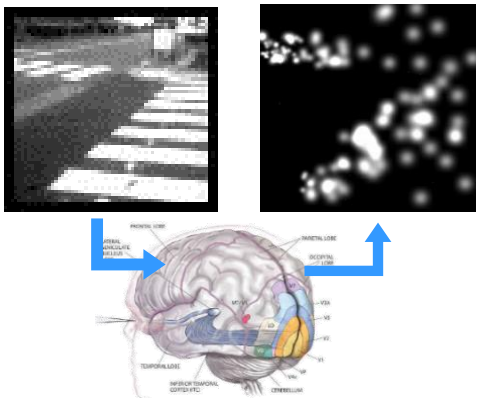

図７. 視覚野-視野マップを用いた光覚パターンシミュレーション. 詳細は本文.

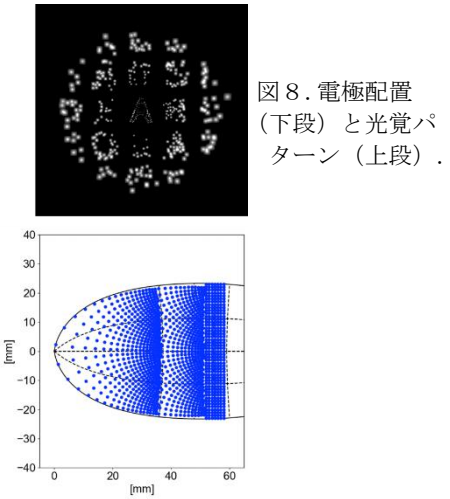

図８. 電極配置（下段）と光覚パターン（上段）.

4.4　NM 人工視覚システムプロトタイプ作成

以上の成果から、人工視覚が従来提案されている人工視覚と同等、あるいはそれ以上に有効な光覚パターンを惹起し得ることが分かった。NM 人工視覚デザインの重要なメリットは、体外装置、体内装置が扱う情報量と通信量が大幅に減ることである。特に体内装置が体外装置から受信する通信量が大幅に減ることは、体内装置の小型化、低消費電力化に大きな意味を持つ。そのためには NM 網膜のスパイク出力画像（スパイクの有無により 1/0 の画素値で表現されるバイナリー画像）を実時間で連続的に圧縮することが必要である。この点において、先の光覚シミュレータを用いた解析の結果、デジタル画像信号の圧縮法であるランレングス符号化法が有効であることをシミュレーションにより見出した。ただしここで送信側エンコードと受信側デコードの処理時間と電力を抑えるこが必須である。そこで圧縮アルゴリズムを集積チップ化して、体内および体外装置のプロセッサの負荷を軽減した[4]。

写真 1 は、圧縮チップのレイアウトである。写真 2 は作成したチップの通信試験の様子である。実験では Blue Tooth を用いて通信試験を行った。通信周波数は 1Mz-5Mz 程度であり、かつ日常のシーン（例えば道路を歩行する）では、NM網膜から送られるフレームの画素値のほとんどは 0 である（90%以上）ため、スリープモードを活用すれば消費電力を 10mW 以下に落とすことは可能であると考えられる（現在も実験中）。また実際の人工視覚では体外と体内装置の距離は高々数 cm であり、頭蓋骨や体液による減衰を考慮しても空気中で 10m におよぶ通信距離を有する Blue Tooth のパワーは必要とせず、1m 程度の到達距離のパワーで十分であると考えられる。体内装置を移植可能な程度に小型化するためには、プロセッサモジュールと圧縮チップを一体化（できれば、単一チップ化）する必要がある。今後の課題として残された。

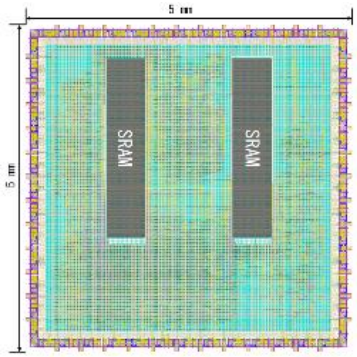

写真１

写真２

本グループでは、本研究の立ち上げ以前に、体内装置からの信号を受けて定電流刺激を行うマルチチャネル刺激チップを作成している[5]。前述のデバイス開発と並行して、この刺激チップを用いてマウス視覚野を電気刺激し、その効果を電位感受性色素イメージングにより計測・解析した。その結果、刺激チップが期待通りに動作し、刺激許容範囲内の電流（100μA 以下）により視覚野神経回路を興奮させることができることを確認した。また NM 網膜出力を用いて刺激チップを駆動するための、動物実験用簡易シミュレーションプラットフォームを製作し、シミュレーション実験を行った[6]。プラットフォームは上記で開発した体内外装置を FPGA 回路で代用した。このシミュレーションにより、本研究で提案する NM 人工視覚の動作と性能を、画像入力から期待される光覚パターンまで通じて確認することができた。このプラットフォームを前述の体外装置、体内装置に置き換えて動物を用いた実験を行うことが今後の課題として残された。

＜引用文献＞

[1]https://en.wikipedia.org/wiki/Cochlear_implant. “Cochlear implant”, Wikipedia
[2]P.W. Lewis, et.al., Restration of vision in blind individuals using bionic devices: a review with a focus on cortical visual prostheses. *Brain Research.*, vol. 1595, pp.51-73, 2015
[3] Y. Hayashida, et. al., IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, vol.11, No.3, pp.597-611 (2017)
[4]N.Tanaka,et.al., The 25th Workshop on Synthesis and System Integration of Mixed Information Technologies (SASIMI 2024), pp. 335-340, Mar. 11-12, 2024.
[5]S.Kameda, et.al., 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2014. PP.5011-5015.
[6]Y. Hayashida, et.al., Frontoers in Medical Technology, 4, article# 927851-21pp, 2022.

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計6件（うち査読付論文　0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 Nishi Masaya、Matsumoto Kaori、Kuroki Nobutaka、Numa Masahiro、Sebe Hikaru、Matsuzuka Ryo、Maida Osamu、Kanemoto Daisuke、Hirose Tetsuya	４．巻 18
２．論文標題 A 35-mV supply ring oscillator consisting of stacked body bias inverters for extremely low-voltage LSIs	５．発行年 2021年
３．雑誌名 IEICE Electronics Express	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） 10.1587/elex.18.20210065	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 Hayashida Yuki、Kameda Seiji、Umehira Yuichi、Ishikawa Shinnosuke、Yagi Tetsuya	４．巻 4
２．論文標題 Multichannel stimulation module as a tool for animal studies on cortical neural prostheses	５．発行年 2022年
３．雑誌名 Frontiers in Medical Technology, article#927851-21pp.	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） 10.3389/fmedt.2022.927581	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 Matsuzuka Ryo、Kanzaki Shuto、Matsumoto Kaori、Kuroki Nobutaka、Numa Masahiro、Kanemoto Daisuke、Hirose Tetsuya	４．巻 62
２．論文標題 Switched-capacitor voltage buck converter with variable step-down and switching frequency controllers for low-power and high-efficiency IoT devices	５．発行年 2023年
３．雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	６．最初と最後の頁 SC1082～SC1082
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/acba22	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 Matsumoto Kaori、Ikeda Ryuki、Sebe Hikaru、Kuroki Nobutaka、Numa Masahiro、Kanemoto Daisuke、Hirose Tetsuya	４．巻 62
２．論文標題 Fully-integrated switched-capacitor voltage boost converter with digital maximum power point tracking for low-voltage energy harvesting	５．発行年 2023年
３．雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	６．最初と最後の頁 SC1071～SC1071
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/acb77e	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 Sumi Shintaro、Sebe Hikaru、Kanemoto Daisuke、Hirose Tetsuya	４．巻 63
２．論文標題 Sub-50 mV power supply, recursive stacking body bias NAND gate for extremely low-voltage CMOS LSIs	５．発行年 2024年
３．雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	６．最初と最後の頁 03SP87～03SP87
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ad29ea	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 Mizuno Yosuke、Sebe Hikaru、Kanemoto Daisuke、Hirose Testuya	４．巻 63
２．論文標題 Ultra-low power low-dropout linear regulator with a load current tracking bias current generator for IoT devices	５．発行年 2024年
３．雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	６．最初と最後の頁 02SP96～02SP96
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ad202e	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 －

〔学会発表〕　計20件（うち招待講演　2件／うち国際学会　8件）

１．発表者名 Santa Fukuda, Tomohiro Nomoto, Kou Yoshida, Yuki Hayashida, Tetsuya Yagi
２．発表標題 Accumulation of non-synaptic and synaptic excitations induced by microstimulation pulses in the mouse visual cortex layer II/II
３．学会等名 Proceedings of the 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society, p5164.
４．発表年 2021年

１．発表者名 本居快・杉浦巧知・國武実里・高橋啓介・髙橋伸子・松久保雄哉・八木哲也
２．発表標題 人工視覚装用者への視能訓練の有効性：人工視覚シミュレーターを用いた知覚再現実験
３．学会等名 第61回視能矯正学会
４．発表年 2021年

１．発表者名
福田燦太，野本知宏，吉田 航，林田祐樹，八木哲也

２．発表標題
大脳皮質への連続パルス微小刺激に対する蓄積的興奮応答のメカニズムに関する解析

３．学会等名
2021年度 ME とバイオサネティックス研究会

４．発表年
2021年

１．発表者名
中尾怜史，武内良典

２．発表標題
RISC-Vを用いた命令拡張のためのプロセッサ開発環境の検討

３．学会等名
DAシンポジウム2021

４．発表年
2021年

１．発表者名
中尾怜史，武内良典

２．発表標題
Rocket-Chipへの三角関数演算命令の実装と評価

３．学会等名
デザインガイア

４．発表年
2021年

１．発表者名
八木哲也

２．発表標題
人工視覚：脳視覚系に学んだコンピュータの目

３．学会等名
電気学会北陸支部フロンティアセミナー（招待講演）

４．発表年
2021年

１．発表者名
Santa Fukuda, Kou Yoshida, Tomohiro Nomoto, Tetsuya Yagi, Yuki Hayashida

２．発表標題
Use-Dependent Inactivation of the Mouse Visual Cortex in Response to Microstimulation Train

３．学会等名
E-Health and Bioengineering Conference (EHB), Hybrid Conf., Iasi-Romania（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
R. Matsuzuka, S. Kanzaki, K. Matsumoto, N. Kuroki, M. Numa, D. Kanemoto, T. Hirose

２．発表標題
Fully Integrated Switched-Capacitor Buck Converter with Variable Ratio and Frequency Controllers for Ultra-Low Power LSI Systems

３．学会等名
International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2022), K-9-06, pp. 798-799.（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
Ryosuke Okada, Shinnosuke Ishikawa, Tetsufumi Tasaki, Tetsuya Yagi, Yuki Hayashida

２．発表標題
A bench-test system of the visual prostheses utilizing retino-morphic spikes as the driver signals of intracortical microstimulation

３．学会等名
Proceedings of the 2022 International Conference on Artificial Life and Robotics, 524-528.（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
H. Sebe, D. Kanemoto and T. Hirose

２．発表標題
Sub-50-mV Charge Pump and its Driver for Extremely Low-Voltage THermal Energy Harvesting

３．学会等名
Proceedings of the 2022 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, pp.2773-2777（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
K. Matsumoto, R. Ikeda, H. Sebe, N. KUroki, M. Numa, D. Kanemoto and T. Hirose

２．発表標題
Switched-Capacitance Voltage Boost Converter with Digital Maximum Power Point Trachking for Low-Voltage Energy Harvesting

３．学会等名
Extended abstract of the 2022 Internationa Conference on Solid State Devicesand Materials, K-9-07, pp. 800-801.

４．発表年
2022年

１．発表者名
八木哲也

２．発表標題
視覚神経系を模倣した脳刺激型人工視覚の開発

３．学会等名
第62回日本生体医工学会大会企画シンポジウム（招待講演）

４．発表年
2023年

１．発表者名
Santa Fukuda, Tomohiro Nomoto, Tetsuya Yagi, Yuki Hayashida

２．発表標題
Effects of the inter-phase delay of microstimulation pulses on the spatio-temporal neural excitation in the mouse visual cortex in vitro

３．学会等名
Proceedings of 11th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, article#81422, Baltimore MD, USA（国際学会）

４．発表年
2023年

１．発表者名
H. Sebe, T. Okumura, S. Sumi, D. Kanemoto P. -H. Chen, T. Hirose

２．発表標題
Sub-30-mV-Supply, Fully Integrated Ring Oscillator Consisting of Recursive Stacking Body-Bias Inverters for Extremely Low-Voltage Energy Harvesting

３．学会等名
Proceedings of ESSCIRC 2023- IEEE 49th European Solid State Circuits Conference (ESSCIRC), 325-328

４．発表年
2023年

１．発表者名
田中尚哉，平山聖冴，武内良典

２．発表標題
人工視覚システムのデータ圧縮伸長モジュールのFPGA実装

３．学会等名
情報処理学会研究報告，Vol．2023，SLDM-201，No.8,pp.97-102.

４．発表年
2023年

１．発表者名
平山聖冴，田中尚哉，武内良典

２．発表標題
視覚野刺激型人工視覚システムの刺激データに対する圧縮プロセッサ設計

３．学会等名
情報処理学会研究報告，vol．2023， SLCM-201，No.7，pp.90-96

４．発表年
2023年

１．発表者名
吉澤翔悟、武内良典

２．発表標題
オペコードコンパクト化によるプロセッサの回路面積低減の評価

３．学会等名
DAシンポジウム2023論文集，pp．71-77

４．発表年
2023年

１．発表者名
Santa Fukuda, Tomohiro Nomoto, Tetsuya Yagi, Yuki Hayashida

２．発表標題
On the spatial synaptic propagation of excitations induced by repetitive microstimulation pulses in the mouse visual cortex

３．学会等名
Proceedings of 46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 4 pages, Orland FL, USA（国際学会）

４．発表年
2024年

1．発表者名 Naoya Tanaka, Shogo Hirayama and Yoshinori Takeuchi
2．発表標題 CODEC system using EG2C chips and power control with a sleep mode for a visual prosthesis
3．学会等名 Proceedings of The 25th Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information Technologies, pp. 335-340, Taipei, Taiwan（国際学会）
4．発表年 2024年

1．発表者名 T. Yagi, Y. Takeuchi and Y.Hayashida
2．発表標題 Neuromorphic design of cortical visual prosthesis
3．学会等名 The 12th Research Institute of Electrical Communication (RIEC) International Symposium on Brain Functions and Brain Computer（国際学会）
4．発表年 2024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	石井　和男 (Ishii Kazuo) (10291527)	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	林田　祐樹 (Hayashida Yuki) (10381005)	三重大学・工学研究科・教授 (14101)	
研究分担者	武内　良典 (Takeuchi Yoshinori) (70242245)	近畿大学・理工学部・教授 (34419)	

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
研究分担者	廣瀬　哲也 (Hirose Tetsuya) (70396315)	大阪大学・大学院工学研究科・教授 (14401)	
研究分担者	高橋　啓介 (Takahashi Keisuke) (80236273)	愛知淑徳大学・健康医療科学部・教授 (33921)	
研究分担者	末松　尚史 (Suematsu Naofumi) (30779517)	大阪大学・工学研究科・助教 (14401)	

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