

令和 3 年 6 月 19 日現在

機関番号：12608  
研究種目：基盤研究(B) (一般)  
研究期間：2017～2020  
課題番号：17H02222  
研究課題名(和文)フレキシブル-CMOSハイブリッド光電気ブレイン・マシン・インターフェースの実現  
  
研究課題名(英文)Opto-Electric Brain Machine Interface using Flexible-CMOS Hybrid Technology  
  
研究代表者  
徳田 崇 (Tokuda, Takashi)  
  
東京工業大学・科学技術創成研究院・教授  
  
研究者番号：50314539  
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)：おおむね研究計画に沿った光電気BMIデバイス、およびワイヤレスドライバデバイスを開発した。このデバイスは以下の機能を搭載している。

ユニットデバイスの結合部がフレキシブル構造となっており、全体としての2次元屈曲が可能。ユニットデバイスにはマルチチャンネル対応のCMOS制御チップを搭載しており、特定のチャンネルを利用してLEDの駆動や電気刺激・計測を行うことができる。ユニットデバイスに搭載したCMOSチップは独自のIDをもち、少ない数(5-6本)の共通配線によってデバイス全体を制御可能である。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、CMOS集積回路の高機能性・多チャンネルスイッチング性を利用しながら、広い範囲で、かつ2次元屈曲可能なブレイン・マシン・インターフェース(BMI)の有効な形態を提示することができた。今後、本研究で開発した技術を新たなデバイス開発に有効利用することができる。特に光と電気を両方用いるというコンセプトは、今世紀に入って大きく発展した光遺伝学(オプトジェネティクス)を取り込んだBMI技術のニーズにこたえることができると期待する。

研究成果の概要(英文)：An opto-electric brain machine interface based on the planned concept was successfully developed. The device has following features:

1, The device has a structure consisting of multiple unit devices connected with flexible bridge structure. The structure can be bent two-dimensionally. 2. Each unit device is equipped with dedicated CMOS control chip. The chip can be used as a selector for multiple LED or neural electrodes on each unit device. 3. Each CMOS chip on the unit device has its unique ID and identification sequence. So multiple CMOS chip connected on shared bus wirings (5-6 wires) can be consistently operated.

研究分野：電気電子工学

キーワード：ブレイン・マシン・インターフェース BMI CMOS オプトジェネティクス バイオチップ バイオエレクトロニクス

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。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

脳をはじめとする神経システムの計測と刺激、さらには神経システムと人工システムとのインターフェースであるブレイン・マシン・インターフェース(BMI)技術は重要な生体計測技術である。BMI 技術は侵襲型と非侵襲型に大別されるが、本研究では侵襲型を扱う。神経細胞の活動は電氣的なものであるため、従来、電極を用いた脳刺激・計測が行われてきた。加えてこの 10 年ほどで劇的な発展を遂げたオプトジェネティクス(光遺伝学)技術によって、神経細胞の活動を光で制御できるようになった。現在、多くのグループによって光と電気を複合的に用いる BMI 技術が提案・研究されている。

脳は膨大な数の微細な神経細胞の集合体であるため、現状の BMI 技術ではごく一部の神経に対して、限られた解像度でアクセスするアプローチがとられる。現状の代表的な(侵襲型)BMI 技術例を図 1 に示す。図 1 にみられるように、カバーする領域の広さと解像度には相関関係がある。一般的に高分解能な技術ではカバー範囲が狭く、広いエリアをカバーできる技術では分解能は低くなる。もう一つの観点として、針状電極を用いる高分解能計測では個々の細胞の計測が可能になるが侵襲性が高くなり、平面電極を用いた ECoG(脳皮質電位=Electrocorticogram)と呼ばれる計測技術の方が侵襲性は低い。このようなデバイスのプラットフォームとして、シリコンやポリイミドといったポリマー膜をベースとするフレキシブルエレクトロニクス技術が期待されている。

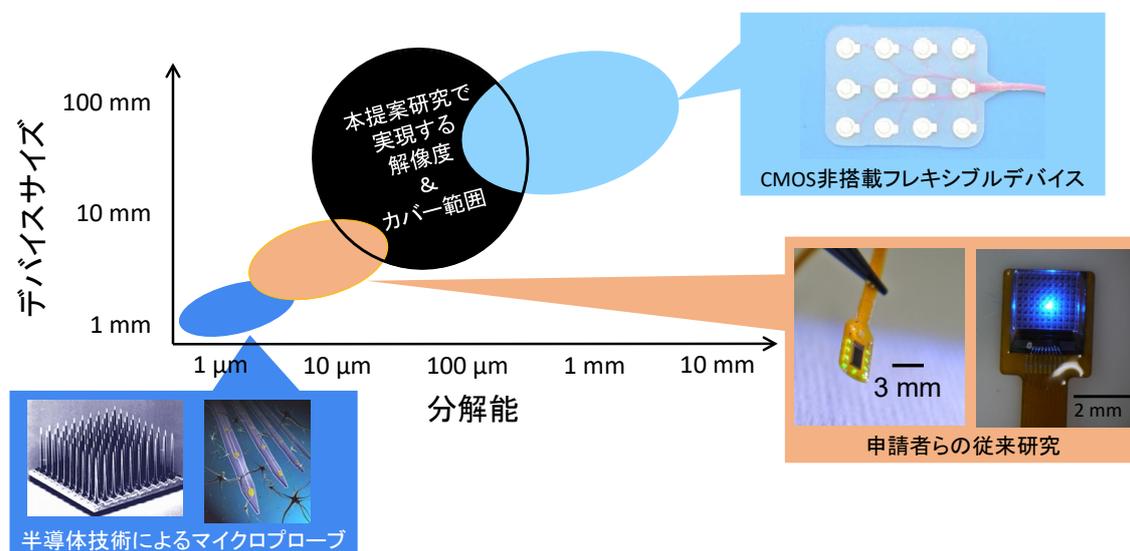


図 1 : (侵襲型) BMI デバイス技術研究の現状と提案研究の位置づけ

## 2. 研究の目的

前述の背景の一方で、機能性の面では(CMOS)集積回路など、半導体エレクトロニクスに優位性がある。そこで本研究では、『CMOS エレクトロニクスによる高集積性・高機能性』を利用して『光と電気の複合機能』を備えた脳神経インターフェースデバイス技術を実現することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では図 2 に示す 4 つの研究課題を設定した。課題はデバイス技術の確立(研究課題①～③)、統合制御システム開発(研究課題④)に分類することができ、最初の 2 年間でプロトタイプデバイスで機能実証し、後半に目的仕様を備えたデバイスを完成させる。制御システムも、デバイス本体の開発に合わせてシンプルなものから高度化を進め、PC やタブレット端末からワイヤレス制御できるシステムとする。

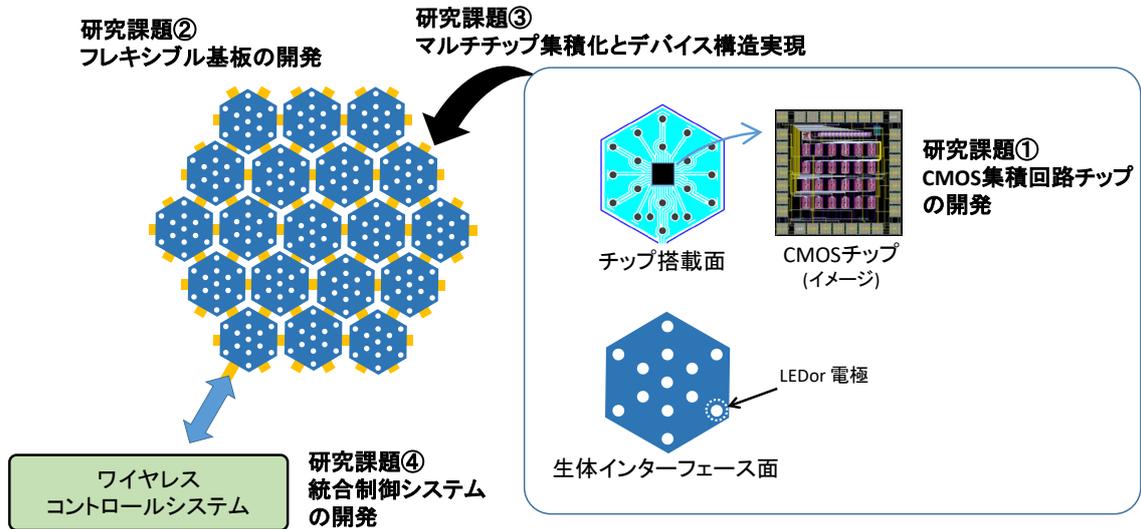


図 2: 本研究の研究課題

#### 4. 研究成果

本研究により、図 3 に示す光電気 BMI デバイス、およびワイヤレスドライバデバイスを開発した。このデバイスは以下の機能を搭載している。

- ① ユニットデバイスの結合部がフレキシブル構造となっており、全体としての 2 次元屈曲が可能。
- ② ユニットデバイスにはマルチチャンネル対応の CMOS 制御チップを搭載しており、特定のチャンネルを利用して LED の駆動や電気刺激・計測を行うことができる。
- ③ ユニットデバイスに搭載した CMOS チップは独自の ID をもち、少ない数(5-6 本)の共通配線によってデバイス全体を制御可能である。

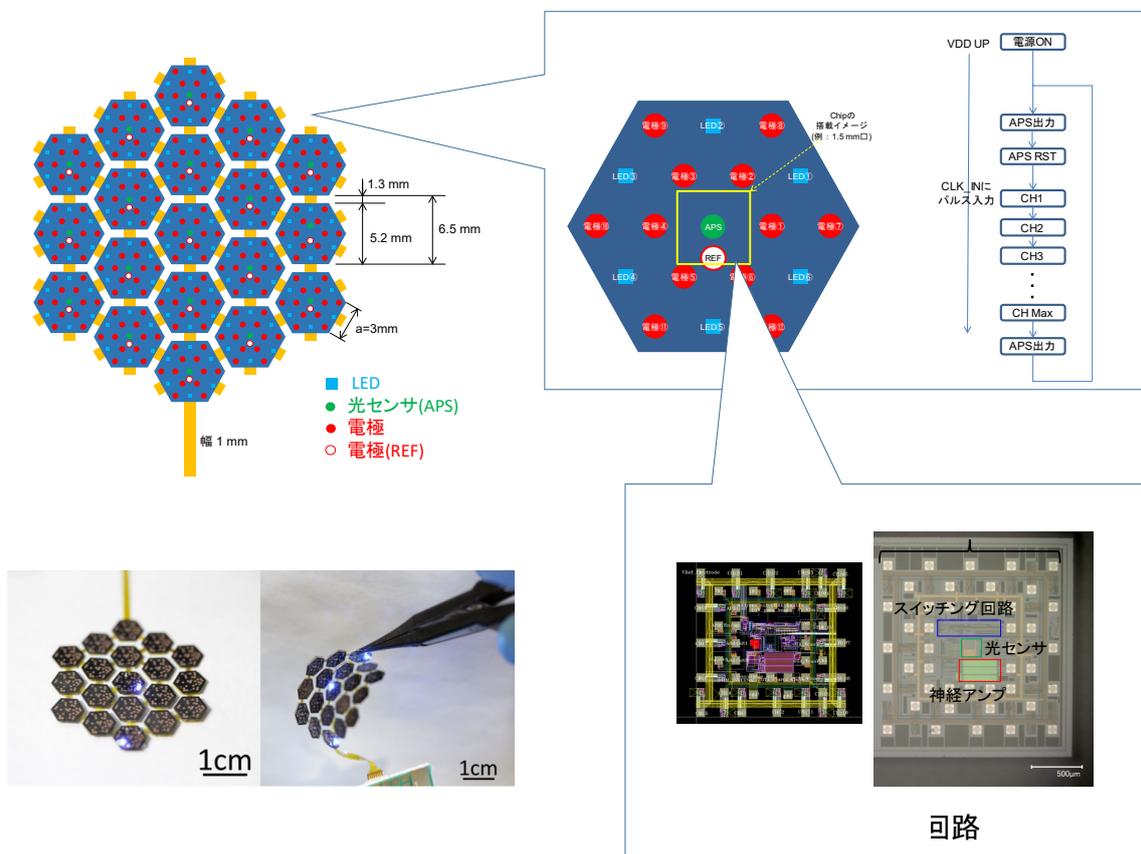


図 3: 実現したフレキシブル BMI デバイス

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 徳田 崇, 横式 康史, 太田 淳	4. 巻 36
2. 論文標題 CMOS集積回路技術を用いたオンチップ光・電気イメージセンサ研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学センサ研究会機関紙"Chemical Sensors"	6. 最初と最後の頁 120-126
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 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 徳田 崇	4. 巻 2021-03
2. 論文標題 インプラントブル電子デバイス技術の最前線!	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本電子回路工業会機関紙JPCA News	6. 最初と最後の頁 4-9
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 Tokuda Takashi, Yokoshiki Yasufumi, Takehara Hironari, Haruta Makito, Sasagawa Kiyotaka, Ohta Jun	4. 巻 141
2. 論文標題 Optical Powering Platform for Ultra-Small Implantable Devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines	6. 最初と最後の頁 63~70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.141.63	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 Wuthibenjaphonchai Nattakarn, Haruta Makito, Sasagawa Kiyotaka, Tokuda Takashi, Carrara Sandro, Ohta Jun	4. 巻 21
2. 論文標題 Wearable and Battery-Free Health-Monitoring Devices With Optical Power Transfer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 9402~9412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSEN.2021.3050139	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 徳田 崇, 春田 牧人, 野田 俊彦, 笹川 清隆, 太田 淳	4. 巻 59
2. 論文標題 超小型ワイヤレス神経光刺激デバイスの創製	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 生物物理	6. 最初と最後の頁 156-160
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Tokuda, T. Ishizu, W. Nattakarn, M. Haruta, T. Noda, K. Sasagawa, M. Sawan, and J. Ohta	4. 巻 8
2. 論文標題 1 mm3-sized Optical Neural Stimulator based on CMOS Integrated Photovoltaic Power Receiver	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 45018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5024243	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 T. Tokuda, T. Ishizu, N. Wuthibenjaphonchai M. Haruta, T. Noda, K. Sasagawa, M. Sawan, and J. Ohta	4. 巻 30
2. 論文標題 Design Optimization of CMOS Control Circuit for Integrated Photovoltaic Power Transfer,	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 2343-2357
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2018.1945	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 Wuthibenjaphonchai Nattakarn, Takaaki Ishizu, Makito Haruta, Toshihiko Noda, Kiyotaka Sasagawa, Takashi Tokuda, Mohamad Sawan and Jun Ohta	4. 巻 57
2. 論文標題 CMOS-based optical energy harvesting circuit for biomedical and Internet of Things devices	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 04FM05
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.04FM05	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

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 10件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Takashi Tokuda
2. 発表標題 CMOS-based ultra-small devices for biomedical and IoT applications
3. 学会等名 9th imec Handai International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳田 崇
2. 発表標題 バイオとIoTのための光電力伝送・エネルギーハーベスティング技術
3. 学会等名 電子情報技術産業協会(JEITA) スマートセンシング・デバイス融合技術分科会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳田 崇
2. 発表標題 バイオ & IoT応用を目指した光駆動マイクロエレクトロニクス
3. 学会等名 2020年度第2回センサ & IoTコンソーシアム技術委員会オンラインセミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳田 崇
2. 発表標題 超小型生体埋め込みデバイス向け光給電技術
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiawen Li, 深町賢人, 竹内瑞希, 横式康史, 徳田 崇
2. 発表標題 光駆動型ワイヤレス生体光刺激デバイスの構造改善
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松岡 聡, 横式 康史, 徳田 崇
2. 発表標題 CMOSチップ分散型アーキテクチャによる光電気神経インターフェースデバイスの研究
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 Takashi Tokuda, Makito Haruta, Kiyotaka Sasagawa, Jun Ohta
2. 発表標題 1mm <sup>3</sup> -sized optogenetic stimulator with CMOS-integrated optical power receiver
3. 学会等名 The 1st Optical Wireless and Fiber Power Transmission Conference, パシフィコ横浜 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Tokuda, Makito Haruta, Kiyotaka Sasagawa, Jun Ohta
2. 発表標題 Implantable optoelectronic devices based on CMOS LSI technology
3. 学会等名 ACS Fall 2019 National Meeting & Exposition in San Diego, CA (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳田 崇, Pakpuwadon Thanet, Wuthibenjaphonchai Nattakarn, 春田 牧人, 笹川 清隆, 太田 淳
2. 発表標題 生体埋め込みデバイス向けワイヤレス光電力伝送技術
3. 学会等名 電気学会総合研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳田 崇, Pakpuwadon Thanet, Wuthibenjaphonchai Nattakarn, 春田 牧人, 笹川 清隆, 太田 淳
2. 発表標題 生体埋め込みデバイス向けワイヤレス光電力伝送技術
3. 学会等名 電気学会マイクロマシン・センサシステム/バイオ・マイクロシステム合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Thanet Pakpuwadon, Nattakarn Wuthibenjaphonchai, 春田 牧人, 笹川 清隆, 徳田 崇, 太田 淳
2. 発表標題 Optical power transfer platform for ultra-small implantable device with alternative current limitations
3. 学会等名 LSIとシステムのワークショップ2019、東京大学生産技術研究所
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Pakpuwadon, W. Nattakarn, M. Haruta, T. Noda, K. Sasagawa, T. Tokuda, M. Sawan, J. Ohta
2. 発表標題 CMOS-integrated optical power transfer for an ultra-small wireless implantable devices
3. 学会等名 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2018), Univ. Tokyo (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Thanet Pakpuwadon、Nattakarn Wuthibenjaphonchai、Makito Haruta、Toshihiko Noda、Kiyotaka Sasagawa、Takashi Tokuda、Jun Ohta、Mohamad Sawan
2. 発表標題 Ultra-Small Optogenetic Simulator Powered by CMOS-Integrated Optical Power Receiver
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会(日本、名古屋国際会議場)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎 祐久、長沼 京介、太田 安美、春田 牧人、笹川 清隆、徳田 崇、太田 淳
2. 発表標題 サル脳深部用刺入型光刺激デバイスの作製と評価
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会(日本、東京工業大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳田 崇、春田牧人、野田俊彦、笹川清隆、太田 淳
2. 発表標題 CMOS技術によるオンチップエレクトロバイオロジー
3. 学会等名 平成30年電気学会全国大会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Tokuda
2. 発表標題 CMOS-based optoelectronic devices for biomedical applications
3. 学会等名 The first International Workshop by the 174th Committee JSPS on Symbiosis of Biology and Nanodevices(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 徳田崇、春田牧人、野田俊彦、笹川清隆、太田淳
2. 発表標題 CMOS技術によるバイオメディカル/IoTフォトニックデバイス
3. 学会等名 電子情報通信学会 集積光デバイスと応用技術特別研究専門委員会(IPDA) 2017年第2回研究会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Tokuda, Makito Haruta, Toshihiko Noda, Kiyotaka Sasagawa, Jun Ohta
2. 発表標題 CMOS-Based Opto-Electric Neural Interface Devices for Optogenetics
3. 学会等名 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Tokuda, M. Haruta, T. Noda, K. Sasagawa, and J. Ohta
2. 発表標題 CMOS-based integrated opto-electric neural interface devices
3. 学会等名 9th International Conference on Molecular Electronics and bioelectronics(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017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

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