

マイクロ LED と神経電極を統合したハイブリッド神経プローブの開発 ～従来の光遺伝学的手法を超えた高精度な神経活動制御と多点記録を実現～

<概要>

豊橋技術科学大学電気・電子情報工学系の関口寛人准教授、電気・電子情報工学専攻の博士前期課程 篠原豪太氏と東北大学大学院薬学研究科の佐々木拓哉教授、鹿山将特任研究員らは、生体組織深部において高精度に神経活動を制御し、多点で神経活動を同時記録することを可能とするマイクロ LED と神経電極を一体化したハイブリッドプローブを開発しました。

近年では、光遺伝学的手法(注1)を利用して、生体の外部から光のみを当てることで、神経細胞の活動を制御することが可能になっています。しかし、従来の光ファイバーを用いた手法では、単一の神経集団の制御に限られ、複数の領域を同時に精密に操作することが困難でした。また、光刺激のみでは神経ネットワークの情報処理や伝播の複雑なメカニズムを完全には解明できないため、誘発された神経活動を高解像度で計測する技術が求められていました。

今回、本研究グループは、独自の接合技術を用いて、光刺激と神経活動記録を同時に行えるよう多点マイクロ LED と神経電極をハイブリッド統合する神経科学プローブを開発しました。この新しいハイブリッドプローブを使用して、マウス脳内で光刺激が特定の神経活動を誘導する様子を高い空間・時間分解能で記録することに成功しました。本研究成果は、神経ネットワークの理解を飛躍的に進展させる可能性を秘めており、神経疾患の新たな治療法開発や、神経科学研究の革新につながることを期待されています。

本研究成果は、2025年2月6日(木)に「Applied Physics Express」にオンライン掲載されました。

<詳細>

現在、光感受性タンパク質の発現を利用して特定の神経活動を制御する光遺伝学的手法は、神経科学研究における強力なツールとして注目されています。しかし、従来の光ファイバーを用いた光刺激では、単一の神経集団の制御には適しているものの、複数の神経細胞群を同時かつ独立して操作することが難しいという課題がありました。

一方で、近年注目されているマイクロ LED を活用した多点光刺激デバイスにより、複数の神経細胞群を個別に制御することが可能となり、神経ネットワークの動態理解が飛躍的に進むと期待されています。また、光刺激のみでは神経ネットワークの情報処理や伝播メカニズムを完全には解明できないため、光刺激と神経活動記録を統合した技術が求められていました。

本研究では、生体深部において光刺激と神経活動記録を同時に行えるマイクロ LED と神

経電極をハイブリッド統合した新しい針状デバイスを開発しました。マイクロ LED プローブは特定部位への光照射を可能にし、神経電極プローブは神経活動の電気信号を計測します。これらのプローブを独立に製造し、各プローブの位置を精密に調整して、Au マイクロバンプを介して高精度に接合する独自技術を開発しました。Au マイクロバンプの高度制御技術により、LED と電極間のギャップを 10 マイクロメートル単位で調整し、高い空間分解能を達成しています。接合されたプローブの角度差は 0.02° 以下であり、優れた平行性によってマウス脳深部へのスムーズな刺入が可能です。さらに、6 つのマイクロ LED と 6 つの神経電極を搭載したハイブリッドプローブをマウス脳に挿入し、特定部位への光照射とその周辺の神経活動の誘発・記録に成功しました。

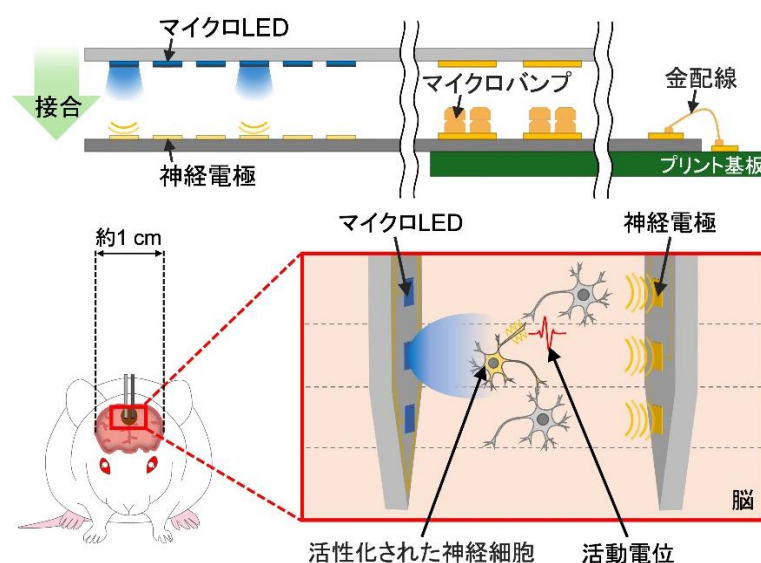


図 1. 特定部位への光刺激と多点での神経活動記録を同時に行える
マイクロ LED と神経電極を統合したハイブリッドプローブ

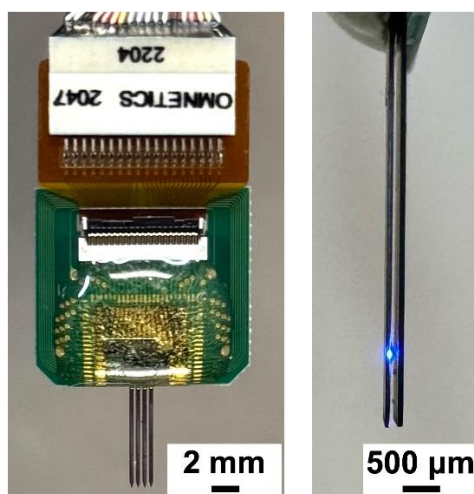


図 2. 開発したマイクロ LED／神経電極ハイブリッドプローブ

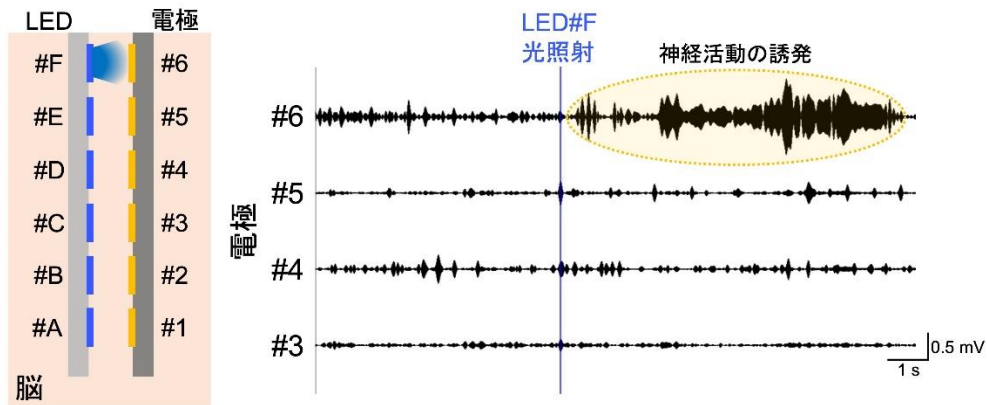


図 3. 特定部位への LED 光照射によるマウス脳の神経活動誘発の記録

<今後の展望>

このハイブリッドプローブは、従来の光遺伝学的手法が抱える空間的制約を克服し、高精度な神経活動の制御と計測を実現します。これにより、神経ネットワークのダイナミクスを理解するための強力なツールとなるだけでなく、神経疾患の治療法開発における新たな可能性を提供します。今後は、さらに高度な多点刺激と記録の機能を統合し、神経科学研究及び医療分野での実用化を目指していくことが期待されています。

<論文情報>

Gota Shinohara, Tasuku Kayama, Ayumu Okui, Wataru Oda, Atsuhi Nishikawa, Alexander Loesing, Nahoko Kuga, Takuya Sasaki, Hiroto Sekiguchi (2025). Hybrid Probe Combining MicroLED and Neural Electrode for Precise Neural Modulation and Multi-Site Recording.

Applied Physics Express. DOI : 10.35848/1882-0786/adaf0a

<用語解説>

注 1：光遺伝学的手法

遺伝子導入によって特定の波長の光を当てると活性が変化するタンパク質を発現させることで、狙った神経細胞の活動を光で制御する手法である。代表的なタンパク質として知られるチャンネルロドプシン 2 は、青色の光によって神経活動時のナトリウムイオンを細胞内に流入でき、人為的に標的の神経細胞の神経活動を誘発できる。

＜問い合わせ先＞

【研究に関すること】

国立大学法人豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系
准教授 関口 寛人（せきぐち ひろと）

TEL：0532-44-6744

Mail：sekiguchi@ee.tut.ac.jp

国立大学法人東北大学大学院薬学研究科 薬理学分野
教授 佐々木 拓哉（ささき たくや）

TEL:022-795-5503

Mail：takuya.sasaki.b4@tohoku.ac.jp

【広報に関すること】

国立大学法人豊橋技術科学大学 総務課広報係 岡崎, 太田

TEL：0532-44-6506 FAX：44-6509

Mail：kouho@office.tut.ac.jp

国立大学法人東北大学大学院薬学研究科 総務係

TEL：022-795-6801

Mail：ph-som@grp.tohoku.ac.jp