

DARPAの神経インタフェースプログラムの基礎となるオプトジェネティクス

神経工学システムデザイン (Neural Engineering System Design : NESD) プログラムは、脳とデジタルワールドの間で行われる正確なコミュニケーションを推進するために2016年に始まったが、大きなステップに入っている。2017年7月、創設元である米国防高等研究事業局 (DARPA) が、このアイデアの実現をサポートするため、今後4年間で6500万ドルを提供する。高解像度な神経インタフェースを制作、実証するために6チームが選ばれた。また、3チームが、感覚障害の将来的な治療法の基礎になると見込まれている、植え込みシステムの一部として光学技術を追跡している。これらのいずれにおいても、オプトジェネティクスが大きな特徴となっている。

軍事を支援する新技術に関わる米国防総省のDARPAは、神経細胞の電気化学的信号からバイナリコードへの変換を非常に強くするインタフェースを目指している。資金は、基礎研究(脳が聴く、話す、見る、を同時に行う処理についての知見を深めること)と、神経活動を効率よく解釈するための生体適応技術をカバーする。

読み取り・書き込みと神経細胞

あるプロジェクトでは、米カリフォルニア大バークレー校 (University of California, Berkeley) のエフド・イサコフ氏 (Ehud Isacoff) が率いるチームが2160万ドルを受け取った。彼らは、大脳皮質で神経細胞活性を検出する新規の「ライトフィールド」のホログラフィ顕微鏡の開発と、数千、さらには

数百万個の神経細胞を一細胞の精度で制御する光の活用を目指している。究極の目的は、「脳から読み取る」と「脳に書き込む」ことを医師が可能にすることである。目的実現までの間、チームは、視覚と触覚において、外部刺激に反応する神経細胞を予測する定量的なコード化モデルの研究を続ける。研究者はその予測を、特定の反応を引き起こすための光刺激パターン構築に活用しようとしている。皮質への

知覚をコード化できれば、失明患者がものを見たり、麻痺患者がものに触れたことを感じたりできるだろう。また、たとえば、義肢の複雑なコントロールに必要な閉ループの入出力にも期待できる。

脳とのコミュニケーションを可能にするためには、活動電位が発火したときに蛍光を発したり、神経細胞が光パルスに反応したりできるように、神経細胞を遺伝的に改変する。

これらの神経細胞を読み込むため

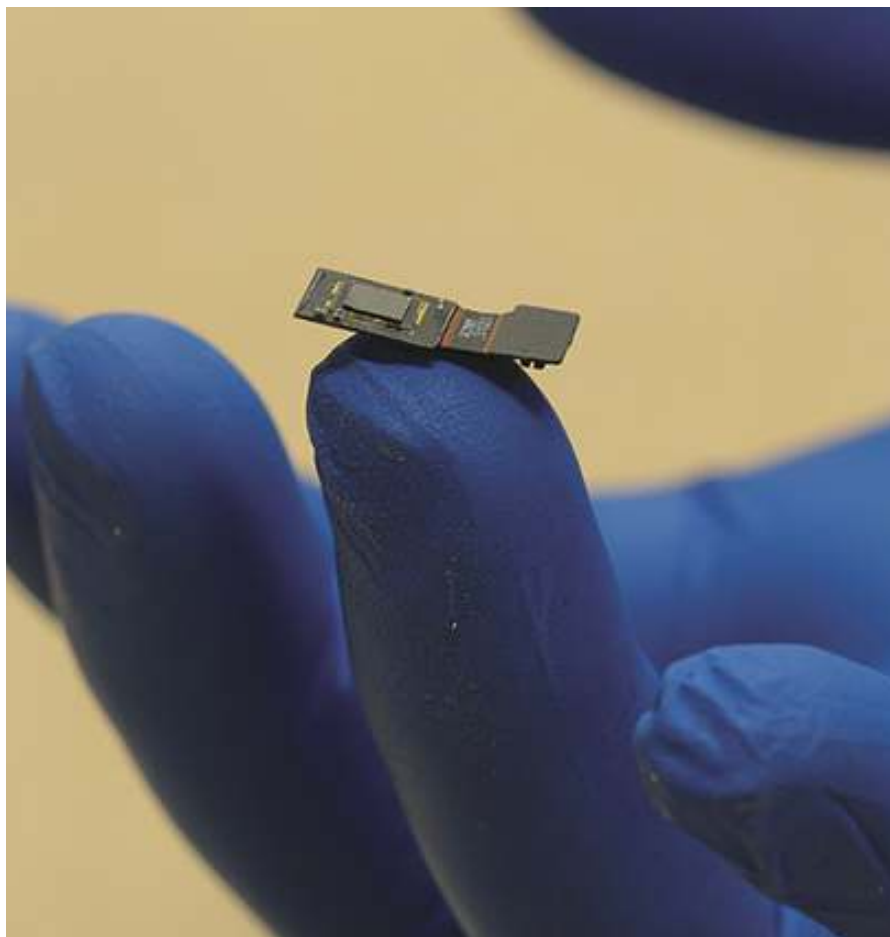


図1 DARPAの神経工学システムデザイン (NESD) プログラムの一部として、ライス大の研究者は、脳の再層外である皮質にある大量の神経細胞をモニター、刺激する薄いインタフェースを開発している。

に、研究者は、頭蓋骨に穴を空けてマウントできるデバイスを開発している。このデバイスは、イサコフ氏が幼生のゼブラフィッシュで脳内の数千の神経細胞の読み取り・書き込みに使ってきた顕微鏡を小さくしたものである。開発の中で、全深度に焦点を当てられる平面シートのレンズを使って画像を捉えるため、平面化したライトフィールド顕微鏡(レン・ウン氏[Ren Ng]の研究が基礎となり、ローラ・ウォラー氏[Laura Waller]とヒレル・アデスニク氏[Hillel Adesnik]の研究室で開発されたもの)を活用する予定だ。あらゆるフォーカスでコンピュータ的に画像を再構築でき、さまざまな深度における最大100万個の神経細胞の活性を同時に可視化、モニターできる。

書き込みの部分では、皮質表面下の複数の深度で、3次元ホログラムを用いる光パターンを照射する方法を開発している。ここでは、通常の脳活動を反映するよう大量の神経細胞を刺激する。チームは、パリ第5大(University of Paris, Descartes)のパレンティナ・エミリアーニ氏(Valentina Emiliani)が開発した空間光変調器を使う計画をしている。

顕微鏡と変調器は、頭蓋骨に不快感なしに植え込めるよう、1cmの十分に小さいキューブ内に収めることを目指す。デバイスは、一度に一細胞に光を当てるほどの精度であり、「健常者で起きているものと同じ割合の活動パターンを届ける」と、イサコフ氏は話す。

この研究には、カリフォルニア大に加え、米ローレンス・バークレー国立研究所(Lawrence Berkeley National Laboratory)、米アルゴンヌ国立研究所バイオニクス研究室(Argonne National Laboratory Bionics Institute)、米ボストンマイクロマシン社(Boston Micro-

machines Corporation)、米アレン脳科学研究所(Allen Institute for Brain Science)の研究者、さらに設計補助、試作、製作に資金提供することでプロジェクトを支える下請業社も関わる。

画像を脳に直接変換する

NESDプログラムの約2500万ドルは、仏パリ視覚研究所(Institut de la Vision)のジョゼ・アラン・サヘル氏(Jose-Alain Sahel)とセルジュ・ピカウド氏(Serge Picaud)が牽引する国際コンソーシアムであるCorticalSightに提供された。ここでは、視覚野へのオプトジェネティックな刺激によって視力を回復させるシステムの開発を目指す。CorticalSightのシステムでは、植え込み電子機器とマイクロLED光学技術が、カメラと、脳のより高次なところにある神経細胞とのコミュニケーションを促進させる。これにより、傷ついた網膜神経節細胞(光受容体)をバイパスして視覚を誘導できるだろう。

カメラは眼鏡に取り付けられ、人工的な網膜として機能し、高解像度でライブの環境を映像化する。脳に植え込まれた機器は、この視覚情報を光信号を変換するアルゴリズムを使う。光信号は、微生物のオプシンを発現させることで光感受性をもたせた視覚野の神経細胞によって解釈される。こうして脳は、視覚を心的イメージに変換する通常の処理を行う。

CorticalSightコンソーシアムには、米ピッツバーグ大医学部(Pittsburgh School of Medicine)、米スタンフォード大(Stanford University)、スイスのフリードリヒ・ミーシャー生物医学研究所(Friedrich Miescher Institute for Biomedical Research)、仏原子力・代替エネルギー庁(Alternative Energies and Atomic Energy Commi-

ssion-Leti)、仏ジェンサイトバイオロジクス社(GenSight Biologics)、仏クロノカム社(Chronocam)、米インスコピクス社(InscoPIX)も参画している。

人工視覚野

米エール大(Yale University)のジョン・B・ピアース研究室と提携して、ヴァインセント・ピエリボン教授(Vincent Pieribone)は、視覚研究とインタフェースシステムの開発のプロジェクトを率いる予定だ。インタフェースシステムでは、光刺激に反応したり生物発光したりするよう改変された神経細胞が、視覚野に対する全光学的な人工器官とコミュニケーションする。

この取り組みの一部として、米ライス大(Rice University)のチームは4年間で400万ドルを受け取り、活性化するとき光を発するよう遺伝子改変された神経細胞からの信号を検出する光学ハードウェア・ソフトウェアのインタフェースを制作する予定だ。電子・コンピュータ工学・生物工学科のカレブ・キメーレ准教授(Caleb Kemere)は、NESDから資金提供を受けたいくつかのチームは個々の神経細胞に届く数千の電極をもつデバイスを調べているが、「顕微鏡が数百万個の神経細胞を可視化できる全光学アプローチを採用している」と説明する。

神経細胞を可視化するため、ピアース研究室は、神経細胞が発火したときに光子を放出するタンパク質のプログラムを研究している。同大のチームは、頭蓋骨と皮質の間に十分収まる小ささで、3次元画像を取得できる顕微鏡(FlatScope)を開発している(図1)。コンピュータと最大数百万個の神経細胞との間で信号を伝達でき、ソフトウェアのアルゴリズムがデコードとトリガーを処理する。(Barbara Gefvert)

LFWJ