


【学術変革領域研究 (B)】

機能進化エレクトロニクスの創出 (進化トロニクス)

	研究代表者	北海道大学・大学院情報科学研究院・教授 竹井 邦晴 (たけい くにはる)	研究者番号: 20630833
	研究課題情報	課題番号: 24B401 キーワード: 機能進化、電子物質、人工多細胞システム、バイオ・電子接合、バイオハイブリッドデバイス	研究期間: 2024年度~2026年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

●研究の全体像

本研究領域では『機能進化 + エレクトロニクス』の融合型研究の造語として『進化トロニクス』の基礎学理を創出することを提案する。ここで『進化』とは、環境や状況に応じて最適な構造へ変化するなど、いわゆる生命が自律的に最適化することで機能を獲得し進化するプロセスを物質やデバイスへ拡張した新たな概念と定義している。本定義を前提に、本研究では従来の設計図をもとに構築するエレクトロニクスの概念から、自己秩序化の原理に則った設計図がなくてもできるエレクトロニクスという新たな学理を創る。生物が環境に適應する形で進化してきたように、電子デバイスが環境や状況に応じて設計図無しで変化そして進化する、これまでの電子デバイスやバイオエレクトロニクスでは考えも及ばなかった全く新しいシステム・コンセプトを学術として体系化させることを目的とする。これまでの電子デバイスは、目的・仕様合った構造・機能を設計し、これにより近代の最先端技術を成し遂げてきた。トランジスタの微細化技術の限界、資源の枯渇、消費電力の増大など多くの課題が存在している状況において、本エレクトロニクス分野が更に発展していくにはこれらの課題を解決するブレークスルーが必要不可欠である。その中、2000年頃からバイオとエレクトロニクスの融合による新しい分野「バイオエレクトロニクス」の研究が盛んになってきた。本分野は細胞や組織と電子デバイスの界面を上手く制御、最適化することで生体の活動状況を電気信号で計測する、又は生体成分から電気的な発電を行う等、日本国内外で注目を浴びてきた。しかしこれも従来のエレクトロニクス同様、目的・仕様合った設計を行い、一度作製してしまうと機能を変化させることは出来ない。この無機質な機能の固定は、環境適応性や柔軟な思考を有する人を含む生物とは大きくかけ離れている。もしこの生物が持つ適応性や柔軟な応答を電子デバイスにも適用できれば、環境に応じたデバイス変化により、作製するデバイス数の低減による材料削減や低消費電力化、さらにこれまで実現できなかった新たな機能創出へと繋がるのが期待できる。この機能進化するデバイスの学術創出、そして応用実現こそが本領域『進化トロニクス学』の目指すゴールである。図1のシナリオで個々の課題解決に向けた研究課題から、成果の融合及び再編から新たな学理を創出し、エレクトロニクス学を実現していく。

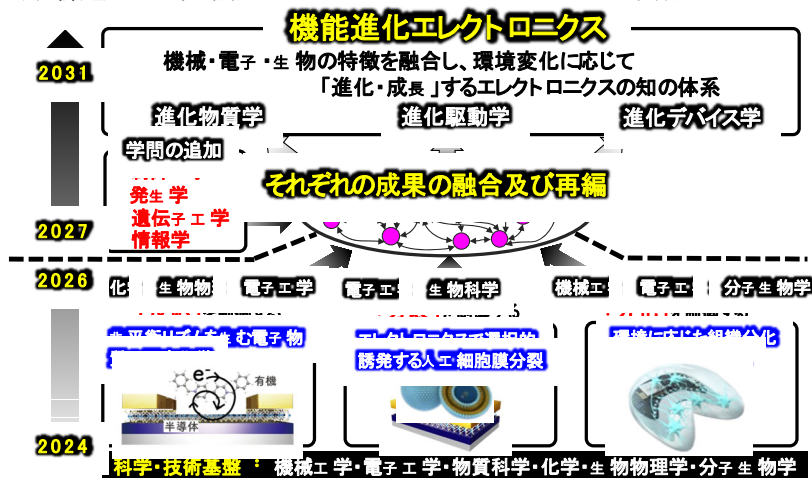


図1 進化トロニクス学の有機的融合及び将来展開

●なぜこの研究を行おうと思ったか

これまでも積極的に異分野融合を行ってきたメンバー間で、新たな学術として『進化するエレクトロニクス』といった分野を創出できないかという議論に至った。その中、月に一度 (計8回) のペースで対面にてブレインストーミングを実施し、アイデアの創出を行ってきた。メンバーは機械工学、電子工学、物質科学、化学、生物物理学、分子生物学を専門とし、さらに生物進化に詳しく、情報科学や知性物質物理学を専門とする研究協力者、ヒトiPS細胞から分化誘導したニューロンや筋肉組織の形成及び制御を専門とする研究協力者との新たな出会いがあった。これら異分野研究者との出会いから、全く新しいバイオエンジニアリングの形態である『進化トロニクス』という学問の基礎を築くことができるという確信に変わり、本領域の発足に至った。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

『進化トロニクス』学は、上述した学理創出に向けた「進化する人工物」の知の体系である。その体系は、「進化的物質学」「進化駆動学」「進化デバイス学」で構成する。「進化的物質学」は、生き物がもつ仕組み (リズム) をどのように物質・電子で実現するかを学問とする。「進化駆動学」は、自由に動きを変化させたり、鍛えることで動きを制御する駆動性の進化・科学の創出とする。「機能進化デバイス学」は、環境などの刺激に対して自由に変化する電子回路を設計し、用途に応じた機能を創出することとする。これら学問を創出することで例えば図2に示すエレクトロニクスの進化を実現させる。従来のエレクトロニクスを第0世代とすると、これは『設計図』をもとに構築され更なる変化や進化を遂げない。それに対して本領域では第1世代として、状況に応じて有機材料が自己秩序的に移動・変化してミクロな電子素子を組み立てる。第2世代は第1世代の素子と、自ら考え分裂・成長する人工細胞膜を融合したマクロな電子回路を創成する。そして第3世代で細胞が3次元集積し組織となり、環境からプログラムされる自発、分裂、分化により目的にあった機能を発現するデバイスとなる。将来的にはそれが更に進化することで自己秩序化の原理に則った『設計図』がなくても構築される自律可能なシステムへと展開する (第4世代)。これまで世界中で研究開発されてきたバイオエレクトロニクスの技術基盤を応用することで、全く異なる次元の未踏領域の研究開発へと展開する。下記に各班の詳細な達成目標を示す。

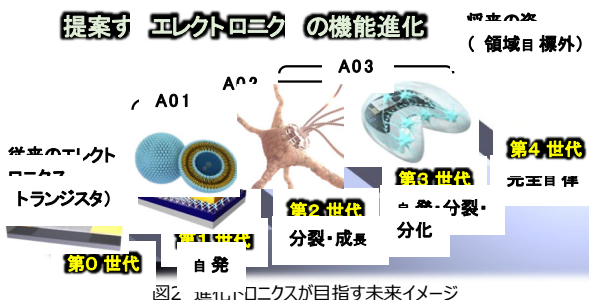


図2 進化トロニクスが目指す未来イメージ

- A01班「反応制御」(桐谷(化学・電子工学)、協力者 (生物物理学)): 分子化学、電子工学、物性物理、生物物理学、情報科学を駆使して、「時間発展する電子物質や電子デバイス」を創出する。従来まで一義的に状態が決定され、その常識の元に利用されてきた電子材料に対して、多様性や環境へ応答し続ける新たな物質観の基礎的な概念の確立を目標とする。
- A02班「分裂制御」(神谷(生物科学)、竹井(電子工学)): 生物学的な手法による人工細胞膜の分裂・成長を制御するシステムに、電気等の刺激による分裂誘導と分裂後の配列・形態を制御するデバイスを融合し、人工細胞膜から人工細胞多細胞システムを構築する。それをういて進化しうるデバイス誘導型人工多細胞システムの構築に向けた足掛かりを築く。
- A03班「分化制御」(太田(機械工学・電子工学)、協力者 (分子生物学)): 機械・電子工学と分子生物学的な手法を融合することで、生体に類似した環境センシングとそれに応じたアクチュエーションが可能なバイオ・メカハイブリッドデバイスを実現する。従来のバイオハイブリッド組織とは異なり、生物の自発性を有効に利用することにより、「入力」と「出力」を生体組織に代替した環境に対応するデバイスを構築する。そして更なる融合を進め、機能進化デバイスの基礎技術を確立する。

ホームページ等

本領域HP <http://evolutionelectronics.jp/>