

	研究代表者	東北大学・工学研究科・准教授 大脇 大（おおわき だい）	研究者番号：40551908
	研究課題情報	課題番号：26B401 キーワード：極限能、キメラ化、設計生物学、蟲、標準化	研究期間：2026年度～2028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

生物は、身体形態、運動器、感覚器など、限られたリソースを活用することで、いま生きている環境に適応している（適応能、氷山の一角、図1左上）。一方、3本脚切断コオロギが残存脚を巧みに活用して新たな歩容を再編し歩き続けるように、極限状態に置かれることではじめて表出する、適応能の限界を超える潜在的極限知能（**極限能**、氷山の深層、図1左下）を有する。

本研究が創成を目指す新興・融合領域は、「**極限能設計生物学**」という革新的な概念を核とし、生物学・ロボティクス・数理科学・情報科学を有機的に架橋する越境型学術領域である。生物が持つ潜在的な知能—とりわけ、未経験の異常な身体構成や極限環境に曝されたときに自己組織的に示す創発的な行動能力—を「**極限能**」と定義し、その極限能を、生体と人工物が融合した身体構成の創出、すなわち「**キメラ化**」によって意図的に「誘導し、顕在化させる」ことで、未踏の適応知能の原理を解明する。本研究では、微小な神経系を持ちながらも驚異的な環境適応性と身体制御能力を示す昆虫やムカデといった生物種（蟲、むし）に着目し、それらの身体・運動・感覚の一部を人工要素で置換・拡張する「キメラ化」技術を用いて、通常の進化や発達過程では見られなかった新たな適応過程の創発機序を計測・解析する。

極限能は、従来の比較生物学的・神経科学的視点では単なる例外や偶然と見なされてきたが、本研究では極限能を「設計」によって能動的に引き出す対象と捉える点で、大きな学術的視点の転換をもたらす。ここで、「設計（Design）」とは、キメラ化という定量的な介入を通じて生物に内在する極限能を高い再現性をもって顕在化させ、「適応」の因果構造を動的に解明する手法であり、本研究はその設計的手法による探究を基軸とする「**設計生物学（Design Biology）**」の確立を目指す。本研究構想は、生物の理解に新しい次元を拓くと同時に、応用工学への橋渡しともなり得る。

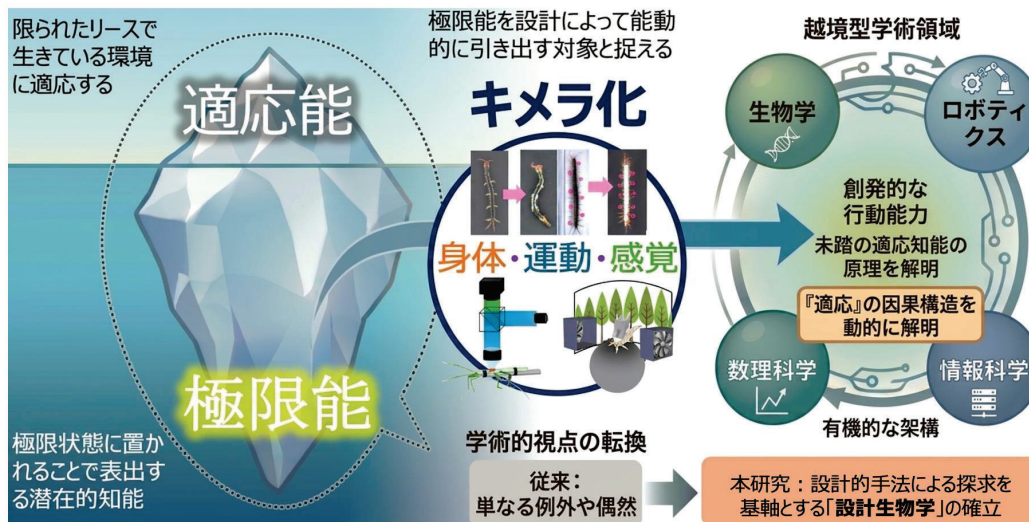


図1 本研究領域の概念図

●なぜこの研究を行おうと思ったか

領域の発足は、領域メンバーそれぞれが蓄積してきた生物行動への介入計測技術の「使い方」に関する発想の転換を端緒とする。Motion Hacking（大脇、代表、A02）、昆虫VR（志垣、A03）、身体切除・神経信号遮断（安井、A01）、神経代替法（安藤、A03）、光遺伝学（峯岸、A02）、身体移植法（脇田、A01）——こうした手法は、従来は目的も背景も異なる研究で用いられていた。これらの技術を再構成し、昆虫やムカデといった生物に生体と人工物の融合した身体構成を創り出す「キメラ化」技術へと昇華させる。これにより、極限能というこれまで研究の埒外にあった対象を、再現性を持って実験可能な領域へと引き込むための革新的かつ横断的な生物学実験フレームワークの構築と、その標準化に繋がる、との着想に至った。“進化に任せるのではなく**「設計によって極限能を創り出す」**ことに挑むべきだ”，この視点の転換が領域構想の根本にある。

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

●研究推進の計画・方法

研究項目1、2：キメラ化技術の開発と極限能設計の実験的検証

A01安井・脇田は、多様な運動様式を示すムカデを対象に、人工装具を用いて形態と運動自由度を他種の特長へと異種化する身体キメラ化手法を開発する。異種化によって動物が示す潜在的適応力を行動実験により可視化し、独自に開発するキメラ蟲シミュレータを活用して、極限状況下におけるミニマルな運動制御原理を構成論的に抽出する。

A02大脇・峯岸は、Motion Hackingと筋活動イメージングを統合し、末梢神経系に人工反射機構を導入する運動キメラ化技術を開発する。昆虫の歩行制御の中核をなす末梢反射回路を人工的に再構成・導入することで感覚と運動間の循環的連関を創出し、筋活動・脚協調動作のレベルから、極限状態下での感覚運動協調の動態を明らかにする。

A03志垣・安藤は、昆虫用VRを用いた感覚キメラ化によって、感覚間協調の神経メカニズムを探究する。行動および脳活動を電気生理的に計測し、複数種間の統合データを共通潜在空間に写像することで、ナビゲーション行動に関わる感覚協調の共通原理と種間差を抽出する。感覚器欠損個体での解析も加え、身体的制約と適応原理の関係を明らかにする。

研究項目3：キメラ蟲実験プラットフォームの構築と極限能融合の実験的検証

研究項目3では、身体・運動・感覚キメラ化技術を統合し、複数の極限能を融合させる事例実験を試みる。

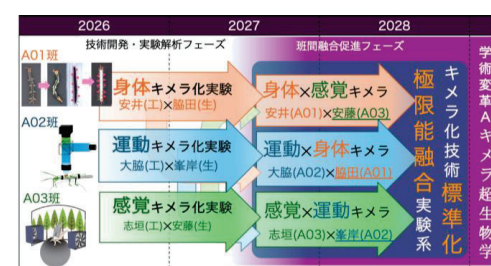


図2 領域全体のロードマップ

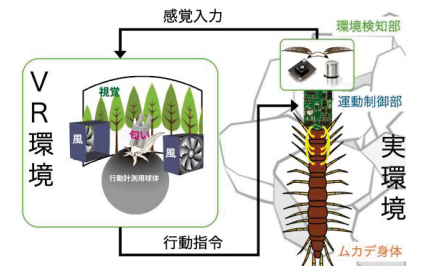


図3 キメラ蟲実験プラットフォーム

●波及効果

- 1.ロボティクスへの応用**：「極限能の設計論」は、従来不可能であった「無限定環境において柔軟かつレジリエントに適応する能力」を具現化し、ロボティクスに変革をもたらす。災害現場など極限環境において活躍するキメラサイボーグ技術の社会実装に繋がる。
- 2.身体性に基づく極限AI (Embodied Ultimate AI)の創成**：キメラ化に対する極限知能の自己組織化原理を解明することで、身体性に応じた戦略を自己組織的に編み出し状況に応じた目的を達成する「身体性極限AI (Embodied Ultimate AI)」の実現に繋がる。
- 3.昆虫科学分野への貢献**：本研究で開発する「キメラ蟲シミュレータ」は、仮想的な蟲の再現を可能とし、進化昆虫学に設計論的検証手法を導入する画期的技術となる。外来虫・害虫行動制御、花粉媒介昆虫の機能性効率化、異常気候変動下での昆虫行動予測など農業・環境分野への応用も期待される。