

Title	生体エネルギーを用いたLiving batteryの創製とバイオハイブリッドロボットへの応用
Author(s)	庄司, 観
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/55983
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (庄 司 観)

論文題名 生体エネルギーを用いたLiving batteryの創製とバイオハイブリッドロボットへの応用

論文内容の要旨

生物の筋肉をアクチュエータとして利用するバイオアクチュエータや昆虫の運動を電気刺激により制御する昆虫サイボーグなど、生物と機械を融合することで従来の機械システムには無い特徴を持ったバイオハイブリッドロボットが多数報告され、新たな機械システムとして注目されている。これらバイオハイブリッドロボットの多くは、化学エネルギーで駆動する筋肉や細胞をアクチュエータとして利用しているが、筋肉を外部から制御する場合、電気刺激や光刺激を利用しているため外部電源が必要となる。もし生体内の化学エネルギーを電気エネルギーに変換することが出来れば、生物が生きている間は燃料補給され続ける半永久電源の開発が可能であり、自己発電により駆動可能なバイオハイブリッドロボットの創製が可能となる。そこで本研究では、生物中に含まれる糖を燃料としたLiving batteryを提案し、*in vitro*および*in vivo*での発電の検証、さらに、Living batteryを用いたバイオハイブリッドロボットを開発した。

まず、第一章「緒言」では、本研究の背景としてバイオハイブリッドロボットに関して述べ、その欠点としてエネルギー源の違いを挙げた。そこで、生物の特徴を持ったLiving batteryを新たに提案し、本研究の目的を、「生物の持つ化学エネルギーから発電する電池」「生物と共生する電池」の開発とした。第二章「Living batteryの設計」では、Living battery開発に向け、Living batteryの定義を満たすための設計指針を提案した。次に、第三章「Living batteryの原理検証」では、第二章で提案したLiving batteryの設計理論をもとに*in vitro*での発電原理検証を行った。具体的には、糖酸化触媒の違いによる発電への影響、Living batteryの積層方法の検証を行った。本研究では、糖酸化触媒として酵素と金属触媒を提案し、昆虫体液を用いて発電実験を行い比較検討した。その結果、酵素では $10.5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、金属触媒では $15.1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ の最大電力密度が得られた。また本論文では、Living batteryの積層方法としてデンキウナギを模倣し、人工脂質二重膜を用いてセルを絶縁する方法を提案した。脂質二重膜は、細胞膜の材料でありイオンなど極性を持った分子を遮断する特性を持っているため、人工脂質二重膜を用いることで電池を電氣的に絶縁することが出来る。人工脂質二重膜で分離されたバイオ燃料電池を作製した結果、セル同士が絶縁され直列に接続することで電圧を上昇させることに成功した。第四章「Living batteryによる*in vivo*での発電」では、第三章までに検証したLiving batteryの基礎原理を昆虫に応用し*in vivo*での発電実験を行った。本研究では、*in vivo*で発電するにあたり昆虫へのLiving batteryの共生方法として、昆虫体内ではなく体表面に共生する、昆虫搭載型バイオ燃料電池(imBFC)を提案した。imBFCは、電極を体外に配置するため大きい電極を利用可能、空気拡散カソードを用いることでカソードの電気化学反応を向上可能、電極を埋め込まないため生体に対し比較的低侵襲などの利点がある。その結果、昆虫一匹から $333 \mu\text{W}$ の最大電力が得られ、電子機器を駆動させることに成功した。最後にLiving batteryの応用例を示すために、第五章「Living batteryを用いた自律分散型センサロボット」では、Living battery、小型無線センサを昆虫に搭載した、自律分散型無線センサロボットを提案し、環境モニタリング実験を行った。その結果、Living batteryによる自己発電により無線センサの駆動に成功し、昆虫を用いた環境モニタリングに成功した。以上の結果を踏まえて、第六章「結言」では本研究の総括を行い、Living batteryやその応用に関して今後の展望や将来性について述べた。

以上本論文では、バイオハイブリッドロボットの電源を開発するために、Living batteryという新たな概念を設計・提案した。その後、*in vitro*での原理検証実験、*in vivo*への応用、さらにはLiving batteryを用いたバイオハイブリッドロボットを作製することでLiving batteryのバイオハイブリッドロボットへの応用の可能性を示唆した。以上の結果は、バイオロボティクス分野だけではなく、電源に関して問題を抱えているインプラント、ウェアラブル医療機器開発など様々な分野への応用が可能である。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (庄 司 観)			
	(職)	氏	名
論文審査担当者	主 査	教授	森島 圭祐
	副 査	教授	大須賀 公一
	副 査	教授	津島 将司
	副 査	教授	石川 将人

論文審査の結果の要旨

生体内の化学エネルギーを電気エネルギーに変換することが出来れば、生物が活着している間は燃料補給され続ける半永久電源の開発が可能であり、自己発電により駆動可能なバイオハイブリッドロボットの創製が可能となる。

本論文は、生物の体内に含まれる糖を燃料とした Living battery という新しい概念を提案し、*in vitro* および *in vivo* での発電の検証、さらに、Living battery を用いたバイオハイブリッドロボットを開発することを目的としており、生体エネルギーを用いた Living battery の創製とバイオハイブリッドロボットへの応用に関する研究成果をまとめたものであり、その内容を要約すると以下ようになる。

第1章では、本研究の背景としてバイオハイブリッドロボットに関して述べ、その欠点としてエネルギー源の違いを挙げている。そこで、生物の特徴を持った Living battery という概念を新たに提案し、本研究の目的を、「生物の持つ化学エネルギーから発電する電池」「生物と共生する電池」の開発としている。

第2章では、Living battery 開発に向け、Living battery の定義を満たすための設計指針を提案している。

第3章では、第2章で提案した Living battery の設計理論をもとに *in vitro* での発電原理検証を行い、糖酸化触媒の違いによる発電への影響、昆虫体液を用いた発電実験、Living battery の積層方法の検証を行っている。その結果、酵素では $10.5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、金属触媒では $15.1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ の最大電力密度が得られている。さらに、Living battery の積層方法としてデンキウナギを模倣し、人工脂質二重膜を用いてセルを絶縁する方法を提案している。人工脂質二重膜で分離されたバイオ燃料電池を作製し、セル同士が絶縁され直列に接続することで電圧を上昇させることに成功している。

第4章では、Living battery の基礎原理を昆虫に応用し *in vivo* での発電実験を行っている。*in vivo* で発電するにあたり昆虫への Living battery の共生方法として、昆虫体内ではなく体表面に共生する、昆虫搭載型バイオ燃料電池(imBFC)を提案しており、 $333 \mu\text{W}$ の最大電力が得られ、電子機器を駆動させることに成功している。

第5章では、Living battery の応用例を示すために、Living battery、小型無線センサを昆虫に搭載した、自律分散型無線センサロボットを提案している。環境モニタリング実験を行い、Living battery による自己発電により無線センサの駆動に成功し、昆虫を用いた環境モニタリングに成功し、生体エネルギーを用いた Living battery によるロボットへの応用の可能性を明らかにしている。

第6章では、Living battery やその応用に関して今後の展望や将来性について述べている。

以上のように、本論文は、バイオハイブリッドロボットの電源を開発するために、Living battery という新たな概念を提案し、基本原理の実証と応用展開を行っている。*in vitro* での原理検証実験、*in vivo* への応用、さらには Living battery を用いたバイオハイブリッドロボットを作製することで Living battery のバイオハイブリッドロボットへの応用の可能性を示唆する結果を得ている。以上の結果は、バイオロボティクスの分野だけではなく、電源に関して問題を抱えているインプラントブル、ウェアラブル医療機器開発、環境モニタリング、エネルギー問題など様々な幅広い分野への応用の可能性があり、重要な知見を与えている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。