

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13118 号
------	---------------

氏名 山中俊郎

論文題目

Self-Propelled Microrobot Using Electroosmosis and Biofuel Cell
(電気浸透とバイオ燃料電池を用いた自己推進マイクロロボット)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	新井 史人
委員	名古屋大学	教授	秦 誠一
委員	名古屋大学	准教授	新津 葵一
委員	名古屋大学	准教授	丸山 央峰

論文審査の結果の要旨

山中俊郎君提出の論文「Self-Propelled Microrobot Using Electroosmosis and Biofuel Cell（電気浸透とバイオ燃料電池を用いた自己推進マイクロロボット）」は、生体内での薬物送達やピンポイント手術などを行う医用泳動マイクロロボットの実現に向けて最も重要な課題である、マイクロスケールでの泳動推進とエネルギー供給に焦点を当て、電気浸透とバイオ燃料電池を統合した新機構を提案し、プロトタイプを使用した実験により推進機能とその有効性を実証することを目的としている。

第1章では、生体内で医療ミッションを行う医用泳動マイクロロボットの実現に向けて必要な機能を整理し、マイクロスケールでの泳動推進とエネルギー供給の重要性および本研究の目的を明示している。次に従来研究におけるマイクロスケールでの泳動推進機構の問題点について整理し、本提案機構の位置づけを明確にしている。

第2章では、グルコースと酸素を燃料とするバイオ燃料電池機構と、その生成電位により電気浸透流を発生させその反力を推進する自己推進マイクロスマーマーについて、形状、構成を定義し、その理論性能について説明している。導出された理論モデルと、設計値および物理パラメータを用いて、電気浸透推進速度の理論値が計算されている。さらに、本提案のマイクロスマーマーは小型化するほど高速化するという特性が理論的に予想している。この特性は、将来の医用泳動マイクロロボットの推進原理に適していると述べられている。

第3章では、長さ約100 μmの自己推進泳動プロトタイプを用いた提案機構の実証について説明している。100 μmプロトタイプは、UV硬化型フォトレジストのSU-8、酸化酵素、還元酵素、および銀ナノ粒子を材料としている。フォトマスクを用いたフォトリソグラフィによる100 μmプロトタイプの製造方法が説明されている。顕微鏡観察により、グルコース溶液中で100 μmプロトタイプの自己推進が確認された。さらに、理論値に近い最大35 μm/sの自己推進速度が計測され、提案機構の妥当性が示されている。

第4章では、小型化するほど高速化する特性の実証について説明している。フェムト秒レーザー3Dマイクロリソグラフィによって、約10 μmの自己推進マイクロスマーマーに適した製造方法が説明されている。さらに、その10 μmプロトタイプの自己推進速度がグルコース溶液中で100 μm/sを超えることを実証し、理論的に予想された通り、小型かつ高速な特性が示されている。

第5章では、バイオ燃料電池と電気浸透流を統合する別の応用として、生体液の局所灌流を目的とした無線マイクロポンプアレイフィルムのコンセプトを説明している。フォトリソグラフィにより、フィルム状のプロトタイプが製作された。そのプロトタイプは、切手のように目的に応じたサイズに切って使うことができる。実際に評価された特性は理論値に劣るもの、グルコース溶液でのプロトタイプ周辺での流れの生成が観察され、コンセプトの有効性を確認している。

第6章では、本論文の結論および今後の展望を述べている。

以上のように、本論文では、バイオ燃料電池と電気浸透を統合した推進機構を提案し、推進速度の理論モデルによる性能予測、100 μmおよび10 μmのプロトタイプを用いた実験検証により、その有効性が示された。また、生体液の局所灌流を目的としたマイクロポンプとしての応用可能性も示された。本論文で示された推進機構は、将来的医用泳動マイクロロボットの推進機構や3次元組織培養のための局所灌流ポンプなど、今後広く応用が期待され、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である山中俊郎君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。