

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 大武美保子

本論文は Modeling, Design and Control of Electroactive Polymer Gel Robots (電場応答性高分子ゲルロボットのモデリング・設計・制御) と題し、英文でかかれ、9章からなっている。電場応答性高分子ゲルなどの刺激応答性の高い材料は、人工筋肉の実現に発展する可能性のある材料として期待されている。本論文は、生物のように柔らかく安全な機械の実現を目指して著者が取り組んだ電場応答性高分子ゲルを用いてロボット全体を構成する研究をまとめたものであり、連続分布したゲル構造体について、モデリング、設計、制御の3つの観点から総合的に論じるとともに、実際にゲルロボットを設計・製作・制御することによってその手法の有効性を実証している。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的、研究の概要について述べている。論文は3部構成になっており、2章及び3章でゲルロボットのモデリングについて、4、5、6章は設計と製作について、7、8章ではゲルロボットの制御についての知見をまとめている。

第2章 Reaction-diffusion continuum model of electroactive polymer gel では、本研究で用いる電場応答性高分子 PAMPS (ポリ 2-アクリルアミドジメチルプロパンスルホン酸) ゲルとその共重合ゲルの近似モデルを提案している。PAMPS ゲルは、界面活性剤溶液中において電場を印加することにより陽極に向かって屈曲変形することが知られている。そのメカニズムは、開始過程と協同過程の二段階に分けて記述される。開始過程は、マイナスに帯電したゲルに対し、プラスに帯電した界面活性剤分子が吸着する過程であり、協同過程は、吸着した界面活性剤分子の疎水基同士が疎水性相互作用により凝集する過程である。この両過程により、ゲル表面に応力が発生し変形すると考えられている。開始過程を反応拡散方程式、協同過程を応力発生方程式として表現し、後者を連続体方程式への入力とすることで変形応答過程を記述した反応拡散連続体モデルを提案している。

第3章 Parameter identification by one point observation では、提案したゲルの変形応答モデルのパラメータを実験的に求める方法を示すと同時に、片持ち梁形状ゲルの一様定常電場入力に対する変形応答と、一様反転電場入力に対する変形応答について、実験とシミュレーションを比較することにより、モデルの正当性を評価している。

第4章 Interaction-based design of deformable machines では、人工筋肉素材の特性を測定するとともに、人工筋肉素材を用いて柔軟機械を設計する際に、相互作用を中心に機構形状と駆動場とを一旦分割して系を展開する方法を提案している。例として、厚さが異なるゲルを組み合わせて厚い部分を構造支持部、薄い部分をアクチュエータ部として働くように設計した、全身人工筋肉分布型柔軟機械のプロトタイプを製作している。

第5章 Spatially-varying electric field design by planer electrodes では、電極をアレイ状、およびマトリクス状に配置した電場生成装置を製作している。また、電場計算をゲル変形モデルに基づくシミュレータに組み込むことにより、製作した電場生成装置により生じるゲルの変形を予測できるようになった。マトリクス状電極については、ヒトデ型ゲルロボットを試作し、脚を一本ずつあるいは中心部分を上下させる実験、起き直り運動を試験的に生成する実験を行った。

第6章 Shape design through geometric variation では、形状加工プロセスを構築し、切り込みを入れて結合を切る、厚さを変化させて結合の強さを空間的に分布させる、幅を変化させて構造的な固さを変形により大きく変化する、という三通りの構造的な固さ変化方法を取り上げて、形状が変形応答に与える影響について実験的に調べている。

第7章 Input-integral method for shape control では、電場応答性高分子ゲルを目的形状に変形させる形状制御を実現するために、単純な形状から多様な形状に到達させる入力信号のかけ方について調べている。片持ち梁状のゲルを空間的に一様な電場下において駆動する従来の変形応答実験を注意深く発展させることにより、新しい駆動法を導いており、周波数応答実験とステップ応答実験の周期や時定数を変化させることにより、先端を目的位置に到達させる手順や、目的形状に到達させる手順などを明らかにしている。

第8章 Lumped-driven method for motion control では、全身に電場応答性高分子ゲルが分布するロボットの多様な運動を生成することを目的として、空間分布電場を時間的に変動させることによりダイナミックな運動を取り出す一括駆動運動制御方式を提案している。この方式を応用して、短冊型ゲルとヒトデ型ゲルロボットの起き直り運動生成や物体への巻きつき動作生成の実験を行い、目的運動を確実に生成できることを実証した。

第9章 Conclusion and future works では、本研究で得られた結論と今後の展望についての考察をまとめている。

以上要するに、本論文は、電場応答性素材を用いて全体を構成したゲルロボットについて、そのモデリング、設計、制御の3つの観点から総合的に論じるとともに、ゲルロボットを実際に設計・製作・制御することによって本手法の有効性を実証したものであって、機械情報工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。