

審査の結果の要旨

氏名 鄭 祐 尚

本論文は、「導電性高分子アクチュエータの電気化学・力学挙動のシミュレーションに関する研究」の成果を取りまとめたものであり、全8章で構成されている。以下に各章の概要を示す。

第1章では、研究の背景、研究の目的および位置付け、本論文の概要について述べている。現在、導電性高分子を用いたアクチュエータに関する研究は実用段階に入っているが、特殊な機能を有し、複雑な駆動メカニズムで作動する導電性高分子アクチュエータの設計に有用な、高精度の計算ツールは存在しない。その理由は、導電性高分子の体積変化を起こすマイクロレベルでの電気化学的反応をモデル化することが困難であり、その結果を用いてマクロレベルでのアクチュエータの変形応答解析を行うための計算システムが存在しなかったからである。本研究では、このような要求に答えて、導電性高分子アクチュエータの設計に有用な、汎用的な計算システムの開発を目的にしている。

第2章では、導電性高分子の電気化学・多孔質弾性挙動に対する計算モデリングを構築している。具体的には、ポリピロール膜の受動的多孔質弾性挙動に対し Della Santa らにより与えられた、多孔質弾性論に基づく三次元連続体モデリングを、Onsager 則に従って能動的電気化学・多孔質弾性挙動に対する定式化に拡張し、Tadokoro らによる1次元イオン輸送方程式と組み合わせた支配方程式系を構築した。

第3章では、ポリピロールを用いたアクチュエータの電気化学・多孔質弾性挙動に対し、電解液内駆動するアクチュエータおよび空気中で駆動するアクチュエータを計算対象として、有限要素解析を行っている。すなわち、様々な電圧 (0.25V、0.5V、0.75V、1.0V) 条件下におけるポリピロールアクチュエータの曲げ挙動に対して有限要素解析を行い、実験結果と比較することにより、提案した計算モデリングの有用性を実証した。

第4章では、ポリピロール膜にポリフッ化ビニリデンおよびカーボンファイバを接合したロボットグリッパの電気化学・多孔質弾性曲げ挙動に対し、有限要素解析を行っている。サイクリックボルタモグラム (CV) 電流下におけるロボットグリッパの曲げ挙動解析結果は、実験結果と良好に対応し、提案した計算モデリングの有用性が確認された。また、先端部の変位が拘束されているロボットグリッパの発生力を解析するため、パラメータ計算を行った。さらに、得られたパラメータを用いて様々な長さのアクチュエータの発生力解析を行い、パラメータの

妥当性および計算モデリングの有用性を実証した。

第5章では、導電性高分子の一種であるポリアニリンの様々な電気化学・多孔質弾性挙動に対して有限要素解析を行い、解析結果を実験結果と比較することにより、提案した計算モデリングの汎用性、有用性を確認している。まず、一定荷重および一定変位条件下のポリアニリンファイバの電気化学・多孔質弾性解析を行った。さらに、ドーパントの種類に依存したポリアニリンファイバの電気化学・多孔質弾性応答を再現するため、イオンの大きさ(半径)と粘性抵抗間の比例関係に着目した計算モデリングを提案した。様々な電圧条件下、様々な溶液内におけるポリアニリンファイバおよびフィルムの設計に有用な計算システムを開発した。

第6章では、イオン導電性高分子の一種であるフレミオンを用いたアクチュエータの設計を支援するための計算システムを開発することを目的としている。フレミオン膜内のイオンの移動、流れ、水和分布、体積変化、フレミオンを用いたイオン導電性高分子・金属複合材料(IPMC)のたわみ計算など、既存の計算モデリングでは不十分であった点を改良し、より高精度で汎用的な計算モデリングを開発した。また、3種類の電圧パターンに対して数値解析を行い、合理的結果が得られることを確認した。一次元電気化学計算モデリングから計算された固有ひずみを用いて三次元変形応答解析を行った。解析結果は実験結果と良好に対応し、提案したモデルの有用性が実証された。

第7章では、3Vの電圧が印加されたフレミオンベースアクチュエータの電気化学・力学挙動に対して電気化学モデリングの構築および妥当性の検証を行っている。フレミオン膜内1.2V以上の電圧が印加されると、水の電気分解が起こり、陽極側では水素イオンが発生し、陰極側では水酸化物イオンが発生する。この場合、カルボン酸を含むフレミオン膜はpH変化により大きな体積変化を生ずる。本章では、フレミオン膜の電気分解を考慮するため、電極近傍での水素イオンおよび水酸化物イオンの発生・拡散・相互作用を含んだ一次元電気化学モデリングを提案し、田谷らにより与えられた平衡水和とpHの関係を用いてフレミオン膜内に生じる水和分布を計算する有限要素モデリングを開発した。続いて、得られた水和分布から固有ひずみを計算して三次元有限変形解析を行い、実験結果と比較することにより提案した計算システムの有用性を実証した。

第8章では、本論文で得られた研究成果をまとめており、結論について述べている。本研究で提案した計算モデリングは、導電性高分子アクチュエータの電気化学・力学挙動を有限要素法の立場から構築したものであり、分子レベルのイオン移動からアクチュエータ本体の曲げ挙動までを統合的に解析できる。また、本研究で提案した計算システムは、相対的に少ないパラメータで導電性高分子の電気化学・力学挙動を再現することが可能であり、多くの実験結果との比較により提案した計算モデリングの妥当性および有用性が確認された。

以上を要するに、本論文では導電性高分子アクチュエータの電気化学・力学挙動のシミュレーション手法を提案し、実験結果、他の数値計算結果との比較により設計支援ツールとしての有用性を実証しており、高い工学的価値を有すると判断される。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。

「審査の結果の要旨」の概要

1. 課程・論文博士の別 課程博士
2. 申請者氏名（ふりがな） 鄭 祐尚（じゃん うさん）
3. 学位の種類 博士（工学）
4. 学位記番号 博工 第 号
5. 学位授与年月日 平成 年 月 日
6. 論文題目 導電性高分子アクチュエータの電気化学・力学挙動のシミュレーションに関する研究
7. 審査委員会委員（主査） 東京大学 教授 都井 裕
教授 影山 和郎
准教授 鈴木 克幸
准教授 岡部 洋二
准教授 大武美保子
8. 提出ファイルの仕様等 提出ファイル名 仕様アプリケーション OS
文 書ファイル 鄭祐尚.doc word2003 winXP
テキストファイル 鄭祐尚.txt