

〈序 ソフトアクチュエータ総論〉

第1節 ソフトアクチュエータ材料の進歩と現状

1. はじめに
2. 高分子ゲルアクチュエータ
3. 導電性高分子アクチュエータ
4. エラストマーアクチュエータ
5. カーボンナノチューブアクチュエータ
6. ナノバイオマシン
7. おわりに

第2節 ソフトアクチュエータ材料の市場開発動向

1. はじめに
2. 電気駆動高分子アクチュエータ材料とその特徴
3. 公開特許から見た分野
  - 3.1 家電分野
  - 3.2 医療・福祉・健康分野
  - 3.3 ロボット
  - 3.4 自動車
  - 3.5 センサ及び振動発電
  - 3.6 その他の応用
4. 今後の展望

第3節 ソフトアクチュエータのロボット・デバイス開発の現状

1. ソフトロボットの背景
2. ソフトロボットで何ができるのか
  - 2.1 受動的力制御
  - 2.2 形状適応性
  - 2.3 柔らかければいいのか
3. ソフトアクチュエータのロボット・デバイス開発の例
  - 3.1 細径人工筋肉を用いたソフトエグゾスケルトン
  - 3.2 ジャコメッティロボティクス
  - 3.3 色が変わるソフトロボット
  - 3.4 自立型空圧ソフトアクチュエータ

〈第1部 ポリマー材料によるソフトアクチュエータデバイスとその応用〉

第1章 ポリマーゲルによるソフトアクチュエータデバイスの実用化とその課題

第1節 光応答型高分子ゲルアクチュエータ

1. はじめに
2. 光応答性部位の設計
3. 分子レベルの変形を如何にマクロな変形へとシンクロさせるか
4. 光応答性高分子ゲルの光応答挙動
  - 4.1 光応答性ポリアミド酸ゲルの合成
  - 4.2 ポリアミド酸ゲルの照射による吸光度変化
  - 4.3 6FDA/DAA 棒状ポリアミド酸ゲルの屈曲挙動
  - 4.4 照射によるゲルの網目サイズ変化の計測
  - 4.5 光応答速度の向上
  - 4.6 二官能性オリゴマーの分子量の光応答速度への影響
5. おわりに

第2節 光応答スピロピランゲルアクチュエータ

1. 緒言
2. 光応答の素過程
3. 微小パターン照射によるシート表面形状制御
4. マイクロ流路の光オンデマンド制御
5. ロッド状ゲルアクチュエータの光屈曲制御
6. 展望と課題

第3節 磁場応答性ソフトアクチュエータ

1. はじめに
2. 磁性ソフトアクチュエータ
3. 磁性ゲルの可変粘弾性
4. 磁性エラストマーの可変粘弾性
  - 4.1 単一粒子型磁性エラストマー
  - 4.2 粒子混合型磁性エラストマー
5. おわりに

第4節 自励振動ゲルアクチュエータ

1. はじめに
2. 自励振動ゲルの設計とゲルの物理化学構造デザインによる自励振動挙動の制御
3. 高分子溶液および微粒子懸濁液の透過率振動および粘性振動
4. 生体模倣アクチュエータへの応用
  - 4.1 ゲルの自律的な蠕動運動
  - 4.2 自律的に一軸移動するソフトアクチュエータの設計
5. 自動物質輸送システムの構築
  - 5.1 ゲルの蠕動運動を利用した自動物質輸送
  - 5.2 自励振動ポリマーブラシ表面の創製
6. 細胞のような複雑な形状振動を示す自励振動架橋ベシクル・コロイドソーム
7. アメーバ運動のようなゾル/ゲル転移を生起させるための自励振動高分子設計
8. おわりに

第5節 体積一定で駆動するヒドロゲルアクチュエータ：水の出入りを伴わない、高速かつ異方的な大変形

1. はじめに
2. 着想の元となった研究：磁場配向した酸化チタンを内包するヒドロゲルの力学物性
3. アクチュエータへの応用展開：磁場配向した酸化チタンを内包するヒドロゲルの変形特性
4. おわりに

第6節 ポリロタキサンを用いた架橋剤の開発と高分子ゲル・ソフトアクチュエータへの応用

1. 刺激応答性高分子ゲルを力学的に高機能化するために
2. ポリロタキサンを架橋剤とする刺激応答性高分子ゲル

第2章 電気駆動ポリマーによるソフトアクチュエータデバイスの実用化とその課題

第1節 誘電ポリマーゲルアクチュエータ

1. はじめに
2. 誘電ポリマーゲルとは
3. 誘電ポリマーゲルに電場を印加すると何が起こるか

4. 誘電ポリマーゲルの電場駆動材としての欠点とその対策は何か
5. 誘電エラストマーの可能性
  - 5.1 ポリウレタンエラストマー (PUE)
  - 5.2 ブロックコポリマーエラストマー (TriBlockCPE)
6. 可塑化ポリマーと溶媒膨潤型ゲルの相違点
7. 誘電性の可塑化ポリマーゲルの性能と可能性
  - 7.1 可塑化 PVC ゲルの構造
  - 7.2 可塑化 PVC ゲルの電場方向の変形 (電歪挙動)
  - 7.3 可塑化 PVC ゲルの電場によるアメーバ様のクリープ大変形と回復挙動
  - 7.4 可塑化 PVC ゲルのクリープ変形の応用例
  - 7.5 可塑化 PVC ゲルの電場による折りたたみ変形
  - 7.6 可塑化 PVC ゲルの折りたたみ変形の応用例
  - 7.7 可塑化 PVC ゲルの駆動機構
    - 7.7.1 非対称な空間電荷分布
    - 7.7.2 陽極へのタック
  - 7.8 可塑化 PVC ゲルの陽極へのタックを利用した伸縮型アクチュエータ
  - 7.9 可塑化 PVC ゲルの陽極へのタックを利用した直流電場誘起型振動子
  - 7.10 可塑化 PVC ゲルのコロソサル誘電率
  - 7.11 PVA ゲルのコロソサル誘電率
  - 7.12 誘電率に由来する電気光学アクチュエータ機能と圧電機能
8. まとめにかえて

## 第2節 誘電エラストマーアクチュエータ

1. はじめに
2. 誘電エラストマーとは
  - 2.1 DE の製法に関して
  - 2.2 DE アクチュエータの数式モデル
  - 2.3 DE 素材の性能
    - 2.3.1 漏れ電流の存在
    - 2.3.2 ヒステリシス
3. DE の研究・開発状況
4. DE センサー
5. DE 発電 (ロボットのバックアップ電源等)
  - 5.1 DE の発電理論
  - 5.2 ロボット, 人や動物の動きで発電
6. DE の未来

## 第3節 圧電ポリマアクチュエータ

1. はじめに
2. 圧電性
3. アクチュエータ材料として見た圧電ポリマの特徴
4. 圧電ポリマアクチュエータの特徴ある開発事例
  - 4.1 複合体設計 (Macro Fiber Composite)
  - 4.2 キラル圧電ポリマトランスデューサ
    - 4.2.1 圧電ポリマフィルムトランスデューサ
    - 4.2.2 積層型デバイス
5. おわりに

## 第4節 空中電場駆動型導電性高分子アクチュエータ

1. はじめに
2. 実験
3. フィルムの特性
  - 3.1 比表面積
  - 3.2 水蒸気吸着特性

4. アクチュエータ特性
  - 4.1 電気収縮挙動
  - 4.2 収縮応力と体積仕事容量
  - 4.3 直動アクチュエータ (ポリマッスル)
  - 4.4 点字ディスプレイ
5. おわりに

## 第5節 ナノカーボン, 金属, 金属酸化物を電極材とする電気駆動ポリマーアクチュエータ

1. はじめに
2. デバイス構成
3. 材料と作製法
  - 3.1 高分子電解質ゲルをベースとしたソフトアクチュエータ
  - 3.2 イオンゲルをベースとしたソフトアクチュエータ
4. 駆動モデル
  - 4.1 イオンゲルの変形
  - 4.2 電極層の変形
5. 応用
  - 5.1 パイオミメティックロボット
  - 5.2 能動カテーテル
  - 5.3 触覚・点字ディスプレイ
  - 5.4 マイクロポンプへの応用
6. まとめと今後の展望

## 第6節 液晶エラストマー・液晶ゲルの電場駆動

1. はじめに
2. LCE の電場応答挙動
3. LC ゲルの電場駆動
4. おわりに

## 第3章 ロボットへの応用-医療分野

### 第1節 高分子電解質膜を用いた医療用アクチュエータ

1. はじめに
2. 高分子電解質膜の医療応用
3. イオンポリマーメタル複合体による高分子電解質アクチュエータの生成方法
4. IPMC の発生張力
5. IPMC の医療応用モデル
  - 5.1 鳥撓骨駆動
  - 5.2 人工呼吸器痰除去
  - 5.3 人工声帯を用いた音声発生機構の構築
6. 高分子電解質膜アクチュエータの電気化学特性とセンサ応用
7. まとめ: 高分子電解質膜を用いた医療用アクチュエータ

### 第2節 ソフトロボティックデバイス “PVCGEL” の開発と医療応用

1. はじめに
2. PVC ゲルの電気刺激応答
3. 積層型 “PVCGEL” の構造と特性
4. フレキシブルシート型 “PVCGEL” の構造と特性
5. テキスタイル型 “PVCGEL” の構造と特性
6. 医療福祉分野への応用
7. おわりに

## 第4章 ロボットへの応用-生物模倣

## 第1節 イオン導電性高分子センサ/アクチュエータ統合システムとヘビ型推進ロボットへの応用

1. センサ/アクチュエータ機能を有する高分子材料 v
2. Ionic polymer-metal composite(IPMC)
  - 2.1 センサ応答と応用事例
  - 2.2 センサ・アクチュエータ統合
  - 2.3 セルフセンシングアクチュエーション
3. ヘビ型推進ロボットへの応用
  - 3.1 IPMCを用いたヘビ型推進ロボット
  - 3.2 IPMCのセンサ機能を利用した自律推進

## 第2節 イオン導電性高分子アクチュエータ水中生物模倣ロボット

1. はじめに
2. IPMCを用いた水中ロボット
3. ヘビ型ロボットの振幅増大現象について:ヘビや魚は効率的な推進のために筋肉の弾性を利用しているか?
4. 歩行ロボットやその他の生物模倣ロボット
5. おわりに

## 第3節 圧電繊維複合材料を用いた生物模倣型ソフト水中ロボットの研究開発

1. はじめに
2. 圧電繊維複合材料
  - 2.1 概要
  - 2.2 構造
  - 2.3 d 31MFC と d 33MFC
  - 2.4 駆動システム
  - 2.5 駆動原理
3. 生物模倣型ソフト水中ロボットへの応用
  - 3.1 基本構成
  - 3.2 設計と試作
  - 3.3 性能評価
    - 3.3.1 遊泳形状
    - 3.3.2 遊泳速度
    - 3.3.3 遊泳効率
4. おわりに

## 第5章 ロボットへの応用-デバイス・その他

### 第1節 可撓性を有する静電フィルムアクチュエータとその応用

1. はじめに
2. 静電フィルムモータ
  - 2.1 概要
  - 2.2 駆動原理
  - 2.3 電極フィルム
  - 2.4 屈曲状態での動作特性
3. 静電吸着機構との統合
  - 3.1 静電吸着機構
  - 3.2 静電吸着機構と静電アクチュエータの統合事例
4. おわりに

### 第2節 誘電エラストマートランジェンダーの応用

1. はじめに
2. 開発背景
3. アクチュエータ・センサーへの応用例
  - 3.1 医療用への展開
    - 3.1.1 医療センサー等への応用例

- 3.2 産業ロボットへのチャレンジ
  - 3.2.1 モーターへの挑戦
  - 3.2.2 透明アクチュエータへのチャレンジ
  - 3.2.3 飛行機・宇宙船等へのチャレンジ
4. 発電デバイスへの応用
5. 最後に

### 第3節 高分子アクチュエータのパルス幅変調制御による運動性の制御

1. はじめに
2. 高分子アクチュエータの作製
3. 計測装置と制御装置について
4. PWMによる高分子アクチュエータの制御原理
5. おわりに

## <第2部 流体制御によるソフトアクチュエータデバイスとその応用>

## 第6章 ロボットへの応用-医療分野

### 第1節 空気圧ソフトアクチュエータの医療検査機器への応用

1. はじめに
2. 大腸内視鏡挿入支援アクチュエータ
  - 2.1 背景と目的
  - 2.2 推進原理とアクチュエータ形状
  - 2.3 解析
  - 2.4 製作と基礎実験
  - 2.5 大腸ファントムへの挿入実験
3. 胃X線検査用腹部圧迫ソフトメカニズム
  - 3.1 背景と目的
  - 3.2 圧迫量可変装置
  - 3.3 圧迫位置可変装置
4. おわりに

### 第2節 空気圧アクチュエータを用いた超音波プローブ走査機構の開発と撮像断面の位置制御

1. はじめに
2. 空気圧アクチュエータと駆動システム
  - 2.1 空気圧アクチュエータと駆動原理
  - 2.2 アクチュエータの変位・発生力特性
3. プローブ走査機構の構成
  - 3.1 アクチュエータの配置
  - 3.2 フレーム部
  - 3.3 プローブ把持部
4. プローブ走査機構の制御系
  - 4.1 座標系とプローブ制御の逆運動学
  - 4.2 プローブ先端の位置フィードバック制御
5. プローブの位置決め精度検証
6. 本機構の応用
  - 6.1 断層像上に描出された治療器具の自動追従実験
  - 6.2 超音波プローブの走査によるボリュームデータの構築
7. まとめ

### 第3節 ラバーアクチュエータを用いた心臓補助装置

1. はじめに
2. 心臓補助装置への応用
  - 2.1 心臓移植と最新医療技術の現状
  - 2.2 CMPの応用研究

- 2.3 RA を利用した心臓補助装置
- 2.4 シミュレーション
- 2.5 実証実験
- 2.6 RA の効果および特長
- 3. ミルキングアクションアシスト装置への展開
  - 3.1 現代社会の課題
  - 3.2 圧受容器刺激デバイス
  - 3.3 血流バランスコントローラー
  - 3.4 ミルキングアクションアシスト装置
  - 3.5 カウンターパルセーション治療への応用
- 4. まとめ

#### 第4節 ソフトロボットへの応用を目指したEHD現象を応用したアクチュエータ

- 1. はじめに
- 2. EHD 現象と数元効果
  - 2.1 EHD 現象とは
  - 2.2 数元効果
- 3. 数元効果を応用した EHD リニアアクチュエータ
  - 3.1 EHD リニアアクチュエータの構造
  - 3.2 EHD リニアアクチュエータの特性評価実験
    - 3.2.1 実験方法
    - 3.2.2 実験結果
  - 3.3 EHD リニアアクチュエータの応用
    - 3.3.1 製作したアクチュエータの構造
    - 3.3.2 3次元型EHDアクチュエータの動作
- 4. アクチュエータの駆動源のための EHD ポンプの開発
  - 4.1 EHD ポンプ
    - 4.1.1 EHD ポンプ開発のための電極構成の検討
    - 4.1.2 試作した基本構造検討用 EHD ポンプ
    - 4.1.3 EHD ポンプユニット
    - 4.1.4 EHD ポンプの構造
    - 4.1.5 試作EHD ポンプの性能測定
  - 4.2 EHD ポンプによるシリンダの駆動
    - 4.2.1 シリンダ駆動結果
- 5. EHD ポンプを駆動源とするアクチュエータ
  - 5.1 EHD ポンプを内蔵した揺動運動型アクチュエータ
    - 5.1.1 揺動運動型アクチュエータの構造
    - 5.1.2 揺動運動型アクチュエータが内蔵する EHD ポンプ
  - 5.2 EHD ポンプ駆動型人工筋アーム
    - 5.2.1 人工筋アーム
    - 5.2.2 人工筋駆動用小型 EHD ポンプ
    - 5.2.3 人工筋およびアームの動作試験結果
- 6. まとめ

### 第7章 ロボットへの応用-福祉分野

#### 第1節 ソフトアクチュエータのリハビリ応用

- 1. はじめに
- 2. 手指関節の拘縮予防リハビリ装置の検討
- 3. 手指関節の拘縮予防リハビリ装置の試作
  - 3.1 空気圧ソフトアクチュエータ
  - 3.2 筋ストレッチング運動と ROM 運動の方法
  - 3.3 リハビリ装置の構造
- 4. 動作確認試験
  - 4.1 試験方法
  - 4.2 筋ストレッチング運動動作試験
  - 4.3 屈曲動作試験
  - 4.4 伸展動作試験

- 5. おわりに

#### 第2節 空気圧ゴムアクチュエータを用いたマッスルスーツ (R)

- 1. はじめに
- 2. McKibben 型人工筋肉
- 3. 腰補助用マッスルスーツ
- 4. 機能回復訓練(リハビリ)での利用
- 5. スタンドアローンモデル
- 6. おわりに

#### 第3節 プリーツアクチュエータとその応用

- 1. はじめに
- 2. プリーツアクチュエータ
  - 2.1 構造・原理
  - 2.2 様々な動作の生成
  - 2.3 基本屈曲動作例
- 3. プリーツアクチュエータの応用例
  - 3.1 軽量のソフトロボットハンド
  - 3.2 前腕支援装具
  - 3.3 対向配置構造
  - 3.4 血圧測定用ソフトグリッパ
- 4. おわりに

### 第8章 ロボットへの応用-公共分野

#### 第1節 軸方向繊維強化型空気圧ゴム人工筋肉の開発とロボットシステムへの応用

- 1. はじめに
- 2. 空気圧ゴム人工筋肉とは?
- 3. 空気圧ゴム人工筋肉の特徴と種類
  - 3.1 空気圧人工筋肉の特徴
  - 3.2 軸方向繊維強化型人工筋肉の特徴
- 4. 軸方向繊維強化型人工筋肉の基本特性
  - 4.1 人工筋肉単体の特性とモデル化
    - 4.1.1 圧力?収縮量?収縮力特性
    - 4.1.2 空気圧人工筋肉の力学的平衡モデル
    - 4.1.3 空気圧人工筋肉のコンプライアンス特性
  - 4.2 空気圧人工筋肉の関節系モデル
    - 4.2.1 人工筋肉の関節系への適用
    - 4.2.2 剛性特性を含んだ関節系モデル
    - 4.2.3 関節剛性制御手法
- 5. 空気圧ゴム人工筋肉のマニピュレータへの応用
  - 5.1 人工筋肉マニピュレータ
  - 5.2 可変粘弾性関節マニピュレータ
  - 5.3 空気圧ゴム人工筋肉の生物型ロボットへの応用
    - 5.3.1 蠕動運動による移動機構(ミミズ型ロボット)
    - 5.3.2 蠕動運動型ポンプ・ミキシングシステム

#### 第2節 空圧ソフトラバーアクチュエータを用いたマイクロロボット

- 1. はじめに
- 2. フレキシブルマイクロアクチュエータ
  - 2.1 ロボットアーム
  - 2.2 ロボットハンド
  - 2.3 歩行ロボット
  - 2.4 マンタ型遊泳ロボット
  - 2.5 管内移動ロボット
  - 2.6 集積型FMA

3. バブラアクチュエータ
  - 3.1 平面型バブラ
  - 3.2 円筒型バブラ
  - 3.3 チューブ巻きつけ型アクチュエータ
4. ジャバラ型マイクロロボットハンド

## 第9章 ロボットへの応用-生物模倣

### 第1節 電界共役流体を用いたアクチュエータとソフトロボットへの応用

1. 電界共役流体
2. 人工筋アクチュエータ
3. フレキシブルハンド
4. シャクトリムシ型ロボット
5. まとめ

### 第2節 マイクロハイドロリックアクチュエータによるソフトロボット

1. はじめに
2. マイクロハイドロリクスとは
3. 基本動作
4. 埋め込み型電気浸透流ポンプ
5. 電源制御回路
6. 圧力源一体型アクチュエータ
7. 自立動作の実証

### 第3節 Wound Tube Actuator

1. はじめに
2. 構造と動作原理
  - 2.1 偏平チューブ
  - 2.2 構造と動作原理
  - 2.3 特徴
  - 2.4 多様な動作の生成
3. 特性
4. 応用
  - 4.1 3条の組み合わせによる全方向の湾曲
  - 4.2 可変拘束による全方向の湾曲
  - 4.3 屈曲・伸展の双方向動作
  - 4.4 曲面構造の湾曲
5. おわりに

### 第4節 細径人工筋を用いた筋骨格ロボット

1. はじめに
2. 細径人工筋
3. 多繊維構造人工筋
4. 細径人工筋を用いた筋骨格ロボット
  - 4.1 ヒトの筋骨格構造
  - 4.2 細径人工筋の筋骨格ロボット下肢への適用
    - 4.2.1 股関節の筋骨格ロボット機構
    - 4.2.2 膝関節の筋骨格ロボット機構
    - 4.2.3 足関節の筋骨格ロボット機構
5. おわりに

### 第5節 水力学的骨格を利用した柔軟なアクチュエータと狭隘地形移動ロボット

1. はじめに
2. 柔軟袋状構造の強度と発生力
3. 周期的動作に特化した多分岐型小型機械式弁「MACS-VALVE」
4. 密閉二重ループ構造の柔軟移動ロボット「MOLLOOP」
5. 柔軟繊毛アクチュエータを用いた移動ロボット
6. まとめ

## <第3部 バイオ材料によるソフトアクチュエータデバイスとその応用>

### 第1節 生体分子モーターを用いた群ロボット

1. はじめに
2. 生体外における生体分子モーターの運動発現手法
3. アクチン/ ミオシン系
  - 3.1 ミオシンゲル上におけるアクチンゲルの運動発現
  - 3.2 カチオン性ポリマーの種類に依存したアクチンゲルの運動特性
  - 3.3 アクチンの受動的自己組織化
4. 微小管/ キネシン系
  - 4.1 微小管の能動的自己組織化
  - 4.2 リング状微小管集合体の構造制御
    - 4.2.1 リング状微小管集合体のサイズ制御
    - 4.2.2 リング状微小管集合体の逐次成長
    - 4.2.3 リング状微小管集合体の回転方向の優位性制御
  - 4.3 微小管の集団運動
5. おわりに

### 第2節 組織工学技術を用いたバイオアクチュエータ

1. はじめに
2. 骨格筋とアクチュエータ
3. 筋細胞を用いたバイオアクチュエータ
4. 我々の培養骨格筋
5. 培養骨格筋の収縮力
6. バイオアクチュエータ
7. 今後の課題
8. おわりに

### 第3節 トレッドミルバイオアクチュエータ

1. はじめに
2. 細胞運動とトレッドミル
3. トレッドミルバイオアクチュエータ研究
4. 超高分子階層性ゲルによるトレッドミルアクチュエータへの応用の試み
5. リニアモータタンパク質による超高分子階層性ゲルの駆動
6. おわりに