

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-522162

(P2005-522162A)

(43) 公表日 平成17年7月21日(2005.7.21)

(51) Int. Cl.⁷

H02N 11/00
A61M 1/10
A61M 5/142
A61M 16/00
F04B 9/00

F I

H02N 11/00 Z
A61M 1/10 500
A61M 16/00 380
F04B 9/00 B
F04B 43/12 C

テーマコード (参考)

3H075
3H077
4C066
4C077

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 61 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-579352 (P2003-579352)
(86) (22) 出願日 平成15年3月18日 (2003.3.18)
(85) 翻訳文提出日 平成16年11月16日 (2004.11.16)
(86) 国際出願番号 PCT/US2003/008703
(87) 国際公開番号 W02003/081762
(87) 国際公開日 平成15年10月2日 (2003.10.2)
(31) 優先権主張番号 60/365,472
(32) 優先日 平成14年3月18日 (2002.3.18)
(33) 優先権主張国 米国 (US)
(31) 優先権主張番号 10/154,449
(32) 優先日 平成14年5月21日 (2002.5.21)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

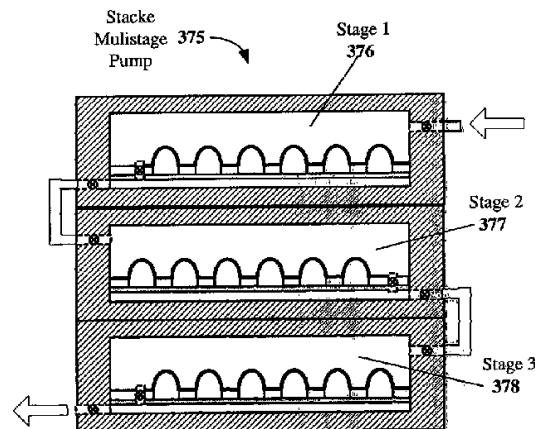
(71) 出願人 501228071
エスアールアイ インターナショナル
SRI International
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
025 メンロパーク レイベンスウッド
アベニュー 333
333 Ravenswood Avenue, Menlo Park, Cal
ifornia 94025, U. S.
A.
(74) 代理人 110000028
特許業務法人明成国際特許事務所
(72) 発明者 ペルライン・ロナルド・イー.
アメリカ合衆国 コロラド州80303
ボールダー, ヒューロン・コート, 79
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 流体を移動させる電気活性ポリマーデバイス

(57) 【要約】

【課題】 ポンプ (340)、圧縮機およびファンのような熱力学的仕事を流体に行うデバイスを提供する。

【解決手段】 熱力学的仕事は、流体を動かす駆動力を提供するのに用いられる。流体になされた仕事は、油圧駆動デバイス内のピストンのような他のデバイスに伝達される。このデバイスは、電界の印加に応答して撓む電気活性ポリマー (341) を持つ1つ以上の電気活性ポリマートランスデューサ (341) を含みえる。電気活性ポリマー (341) は熱力学的仕事を流体に行うのに用いられる。本デバイスは、人間の可聴範囲より上、または下の音響信号を作る動作条件のような複数の動作条件において効率的に動作するように設計される。本デバイスは、冷凍システム、冷却システムおよびヒーティングシステムのような熱制御システム内で使用される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

熱力学的仕事を流体に行うデバイスであって、

1つ以上のトランスデューサであって、それぞれのトランスデューサは少なくとも2つの電極、および前記少なくとも2つの電極に電氣的に接続する電気活性ポリマーを備え、前記電気活性ポリマーの一部は、電界の変化に応答して第1位置から第2位置に撓むように構成される、1つ以上のトランスデューサ、

流体に接触し、前記1つ以上のトランスデューサに動作可能に結合された少なくとも1つの表面であって、前記電気活性ポリマーの前記一部の前記撓みは、前記熱力学的仕事の前記流体に行われるようにし、前記熱力学的仕事は前記流体に前記1つの表面を介して伝達される少なくとも1つの表面を備えるデバイス。 10

【請求項 2】

請求項1に記載のデバイスであって、前記デバイスは、ポンプ、圧縮機、油圧アクチュエータ、ファン、およびそれらの組み合わせからなるグループから選択されるデバイス。

【請求項 3】

請求項1に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記1つの表面を第1形状から第2形状に変化させるデバイス。

【請求項 4】

請求項1に記載のデバイスであって、前記1つの表面は、前記1つ以上のトランスデューサに機械的リンケージを介して結合されるデバイス。 20

【請求項 5】

請求項1に記載のデバイスであって、前記1つの表面は、前記電気活性ポリマーの前記部分を含むデバイス。

【請求項 6】

請求項5に記載のデバイスであって、前記1つの表面は、風船形状、半球形状、円筒形状、または半円筒形状のうちの1つを形成するように膨張するデバイス。

【請求項 7】

請求項1に記載のデバイスであって、前記流体は、圧縮性、非圧縮性、またはそれらの組み合わせのうちの1つであるデバイス。 30

【請求項 8】

請求項1に記載のデバイスであって、前記流体は、ニュートンまたは非ニュートン流体であるデバイス。

【請求項 9】

請求項1に記載のデバイスであって、前記流体は、気体、プラズマ、液体、2つ以上の不混和性液体の混合物、超臨界流体、スラリー、懸濁液、およびこれらの組み合わせからなるグループから選択されるデバイス。

【請求項 10】

請求項1に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記1つの表面について回転運動、直線運動、振動運動、またはそれらの組み合わせのうちの1つを発生するデバイス。 40

【請求項 11】

請求項1に記載のデバイスであって、

前記流体を受け取るチャンバであって、前記チャンバの境界表面は、前記1つの表面を含むチャンバをさらに備えるデバイス。

【請求項 12】

請求項11に記載のデバイスであって、前記チャンバは、ブラッダまたはベローズのうちの1つから形成されるデバイス。

【請求項 13】

請求項 1 2 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記ブラッドまたはベローズを押して、前記ブラッドまたはベローズの容積を減少させるデバイス。

【請求項 1 4】

請求項 1 2 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記ブラッドまたはベローズを伸ばして、前記ブラッドまたはベローズの容積を増加させるデバイス。

【請求項 1 5】

請求項 1 1 に記載のデバイスであって、前記チャンバはシリンダおよびピストンから形成され、前記 1 つの表面は、ピストンヘッドの一部であるデバイス。

10

【請求項 1 6】

請求項 1 1 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記チャンバの容積の変化を引き起こすデバイス。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 に記載のデバイスであって、前記チャンバ内の前記容積の前記変化は、前記流体を圧縮するデバイス。

【請求項 1 8】

請求項 1 6 に記載のデバイスであって、前記チャンバ内の前記容積の前記変化は、前記流体を膨張させるデバイス。

【請求項 1 9】

請求項 1 6 に記載のデバイスであって、前記チャンバ内の前記容積の前記変化は、前記流体の少なくとも一部における熱力学的相変化を引き起こすデバイス。

20

【請求項 2 0】

請求項 1 6 に記載のデバイスであって、前記チャンバ内の前記容積の前記変化は、前記チャンバ内に流体を引き込むデバイス。

【請求項 2 1】

請求項 1 6 に記載のデバイスであって、前記チャンバ内の前記容積の前記変化は、前記チャンバ内から流体を追い出すデバイス。

【請求項 2 2】

請求項 1 に記載のデバイスであって、ファンブレードをさらに備え、前記 1 つの表面は前記ファンブレードの表面の一部であるデバイス。

30

【請求項 2 3】

請求項 2 2 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記ファンブレードを回転させるデバイス。

【請求項 2 4】

請求項 2 2 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記ファンブレードの形状が前記ファンブレードの空気力学的パフォーマンスを変えるようにするデバイス。

【請求項 2 5】

請求項 2 2 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記ファンブレードのピッチを変化させるデバイス。

40

【請求項 2 6】

請求項 2 2 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記ファンブレードの空気弾性特性または空気音響特性のうちの 1 つにおける変化を引き起こすデバイス。

【請求項 2 7】

請求項 2 2 に記載のデバイスであって、前記ファンブレードは、ファン、ポンプまたは圧縮機内の要素であるデバイス。

【請求項 2 8】

請求項 1 に記載のデバイスであって、熱力学的仕事は前記流体を第 1 位置から第 2 位置

50

に移動させる駆動力を提供するデバイス。

【請求項 29】

請求項 1 に記載のデバイスであって、
前記流体が前記デバイスを通して移動することを可能にするフローパスの少なくとも一部を提供するのに用いられる 1 つ以上の流体導管
をさらに備えるデバイス。

【請求項 30】

請求項 29 に記載のデバイスであって、
前記フローパスを通る前記流体のフローレート、フロー方向、およびそれらの組み合わせのうちの 1 つを制御する 1 つ以上のバルブ
をさらに備えるデバイス。

10

【請求項 31】

請求項 30 に記載のデバイスであって、前記 1 つ以上のバルブはチェックバルブであるデバイス。

【請求項 32】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記デバイスは、第 2 デバイス中の 1 つ以上の位置における温度を制御する熱制御システムにおいて用いられるデバイス。

【請求項 33】

請求項 32 に記載のデバイスであって、前記第 2 デバイスはコンピュータであり、前記位置群のうちの 1 つは前記コンピュータのマイクロプロセッサの近傍であるデバイス。

20

【請求項 34】

請求項 32 に記載のデバイスであって、前記流体は、熱エネルギーを第 1 位置から、前記第 2 デバイス中の第 2 位置へ伝導するデバイス。

【請求項 35】

請求項 34 に記載のデバイスであって、前記流体の少なくとも一部は、液相であるデバイス。

【請求項 36】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記流体に熱エネルギーを与えたり、取り除いたりする熱交換機をさらに備えるデバイス。

【請求項 37】

請求項 36 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの 1 つ以上の部分は、前記熱交換機として振る舞うデバイス。

30

【請求項 38】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記デバイスは、冷凍システムのためのポンプまたは圧縮機のうちの 1 つであるデバイス。

【請求項 39】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記 1 つの表面内に波状運動を誘起し、前記波状運動は前記熱力学的仕事を前記流体に行うデバイス。

【請求項 40】

請求項 1 に記載のデバイスであって、
強制戻りメカニズムであって、前記強制戻りメカニズムは、前記電気活性ポリマーの前記部分が前記第 2 位置から前記第 1 位置へ戻る力の少なくとも一部を提供する強制戻りメカニズム
をさらに備えるデバイス。

40

【請求項 41】

請求項 40 に記載のデバイスであって、前記強制戻りメカニズムはバネであるデバイス。

【請求項 42】

請求項 1 に記載のデバイスであって、流体導管をさらに備え、前記電気活性ポリマーの

50

前記一部の前記撓みは、前記流体導管内に蠕動運動を発生することによって、前記流体を前記流体導管を通して移動させるデバイス。

【請求項 4 3】

請求項 1 に記載のデバイスであって、流体導管をさらに備え、前記電気活性ポリマーの前記一部の前記撓みは、前記流体導管内に蠕動運動を発生することによって、前記流体導管内の前記流体を前記導管を通して移動させるデバイス。

【請求項 4 4】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記 1 つ以上のトランスデューサは、鞭毛のように動作するよう設計されるデバイス。

【請求項 4 5】

請求項 4 4 に記載のデバイスであって、前記流体導管の一部は、E P A M ロールトランスデューサから構成されるデバイス。

【請求項 4 6】

請求項 1 に記載のデバイスであって、
前記電気活性ポリマーの前記部分の撓みの方向にバイアスするバイアスメカニズムをさらに備えるデバイス。

【請求項 4 7】

請求項 4 6 に記載のデバイスであって、前記バイアスメカニズムは、バネ、膨張剤、挿入、またはそれらの組み合わせのうちの 1 つであるデバイス。

【請求項 4 8】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記流体中の圧力から発生された油圧力を受け取る出力軸をさらに備えるデバイス。

【請求項 4 9】

請求項 4 8 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の撓みは、前記流体内の前記圧力を増加させ、前記出力軸を動かす油圧力を提供する。

【請求項 5 0】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記デバイスは、多段ポンプまたは多段圧縮機のうちの 1 つの中のステージであるデバイス。

【請求項 5 1】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記デバイスの動作によって発生される音響信号が人間の可聴領域より上、または下であるデバイス。

【請求項 5 2】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分が撓む動作周波数は、人間の可聴領域よりも上、または下であるデバイス。

【請求項 5 3】

請求項 5 2 に記載のデバイスであって、前記動作周波数は 3 0 H z 未満であるデバイス。

【請求項 5 4】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記 1 つ以上のトランスデューサおよび前記 1 つの表面を収める筐体をさらに備えるデバイス。

【請求項 5 5】

請求項 5 4 に記載のデバイスであって、前記筐体の高さの二乗を前記筐体のフットプリント面積で割ったものとして定義される平坦さのパラメータが実質的に 1 より小さいデバイス。

【請求項 5 6】

請求項 5 5 に記載のデバイスであって、前記平坦さのパラメータは約 0 . 1 よりも小さいデバイス。

【請求項 5 7】

請求項 5 5 に記載のデバイスであって、前記平坦さのパラメータは約 0 . 0 5 よりも小さいデバイス。

10

20

30

40

50

【請求項 58】

請求項 55 に記載のデバイスであって、前記平坦さのパラメータは約 0.01 よりも小さいデバイス。

【請求項 59】

請求項 1 に記載のデバイスであって、複数の開口を持つクランププレートをさらに備え、前記電気活性ポリマーは、前記複数の開口の中へ撓むよう設計された電気活性ポリマーフィルムであるデバイス。

【請求項 60】

請求項 59 に記載のデバイスであって、前記クランププレートにマウントされ、前記クランププレートおよび前記下部チャンバ間の前記フィルムを固定するよう設計された下部チャンバをさらに備えるデバイス。 10

【請求項 61】

請求項 60 に記載のデバイスであって、前記流体を受け取るポンプチャンバは、前記下部チャンバの表面の部分および前記フィルムの表面の部分によって形成されるデバイス。

【請求項 62】

請求項 61 に記載のデバイスであって、前記下部チャンバは、前記流体を前記ポンプチャンバに導き、前記流体を前記ポンプチャンバから遠ざけるように導く 1 つ以上の流体導管をさらに備えるデバイス。

【請求項 63】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記流体を通して前記デバイスを前進させるデバイス。 20

【請求項 64】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記デバイスは玩具において用いられるデバイス。

【請求項 65】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記流体はインクジェットプリンタにおいて用いられるインクであるデバイス。

【請求項 66】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記 1 つの表面を介して前記流体に伝達される前記流体の特性の変化をさらに引き起こすデバイス。 30

【請求項 67】

請求項 66 に記載のデバイスであって、前記流体の前記特性は、1) フローレート、2) フロー方向、3) フロー渦度、4) フロー運動量、5) 混合、6) フロー乱流、7) 流体エネルギー、8) 流体熱力学的特性、9) 流体力学的特性からなるグループから選択されるデバイス。

【請求項 68】

請求項 1 に記載のデバイスであって、ベローズバネをさらに備え、前記ベローズバネは、前記流体が前記ベローズバネを通して流れることを可能にするフローパスを提供する流体導管の一部を形成するデバイス。 40

【請求項 69】

請求項 68 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記第 1 位置から前記第 2 位置への前記撓みは、前記ベローズバネの直径を増加させるデバイス。

【請求項 70】

請求項 69 に記載のデバイスであって、前記ベローズバネを通るフローレートは、前記ベローズバネの前記直径に比例するデバイス。

【請求項 71】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記流体の特性を計測するために前記デバイスに接続された 1 つ以上のセンサをさらに備えるデバイス。

【請求項 72】

請求項 7 1 に記載のデバイスであって、前記流体の前記特性は、前記流体の温度、圧力、密度、粘性、熱伝導度、フローレート、および構成要素の濃度からなるグループから選択されるデバイス。

【請求項 7 3】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記ポリマーの前記部分の前記撓み、前記ポリマーの前記部分上の電荷、および前記電気活性ポリマーの前記部分にわたる電圧のうちの 1 つ以上をモニタするための前記デバイスに接続された 1 つ以上のセンサをさらに備えるデバイス。

【請求項 7 4】

請求項 1 に記載のデバイスであって、1) 前記トランスデューサの動作を制御すること、2) 1 つ以上のセンサをモニタすること、3) 他のデバイスと通信すること、および 4) それらの組み合わせのうちの少なくとも 1 つのための論理デバイスをさらに備えるデバイス。 10

【請求項 7 5】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記 1 つ以上のトランスデューサについて、電圧ステップアップ、電圧ステップダウンおよび電荷制御の機能のうちの 1 つ以上を実行するよう設計または構成された調整電子回路をさらに備えるデバイス。

【請求項 7 6】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーは、シリコーンエラストマー、アクリルエラストマー、ポリウレタン、P V D F を含む共重合体、およびそれらの組み合わせからなるグループから選択されるデバイス。 20

【請求項 7 7】

請求項 1 に記載のデバイスであって、
前記 1 つの表面を前記 1 つの表面と接触する前記流体の成分から保護するよう設計または構成される絶縁バリア
をさらに備えるデバイス。

【請求項 7 8】

請求項 1 に記載のデバイスであって、
前記 1 つ以上のトランスデューサに固定するよう設計または構成される 1 つ以上の支持構造
をさらに備えるデバイス。 30

【請求項 7 9】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーは、前記第 1 位置において弾性的に予歪みが与えられることによって、前記第 1 位置および第 2 位置の間の前記電気活性ポリマーの機械的応答を改善するデバイス。

【請求項 8 0】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーは、約 1 0 0 M P a 未満の弾性率を有するデバイス。

【請求項 8 1】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーは、前記第 1 位置および前記第 2 位置の間で少なくとも約 1 0 パーセントの弾性領域歪みを有するデバイス。 40

【請求項 8 2】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーは多層構造を備えるデバイス。

【請求項 8 3】

請求項 5 3 に記載のデバイスであって、前記多層構造は、電気活性ポリマーの 2 つ以上のレイヤを備えるデバイス。

【請求項 8 4】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記デバイスはマイクロエレクトロメカニカルシステム (M E M S) デバイスであるデバイス。 50

【請求項 85】

請求項 55 に記載のデバイスであって、前記 MEMS デバイスはシリコン基板上に製造されるデバイス。

【請求項 86】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記デバイスは、ベローズポンプ、遠心ポンプ、ダイアフラムポンプ、ロータリーポンプ、ギアポンプまたはエアリフトポンプのうちの 1 つであるデバイス。

【請求項 87】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記デバイスは、エアコンプレッサ、燃料ポンプ、オイルポンプ、水ポンプ、冷却ファン、排気ガス再循環ポンプ、タイヤポンプ、冷却ポンプまたは風防ワイパー流体ポンプのうちの 1 つであるデバイス。 10

【請求項 88】

請求項 1 を備える医用デバイス。

【請求項 89】

請求項 88 に記載の医用デバイスであって、前記医用デバイスは宿主のためのものであるデバイス。

【請求項 90】

請求項 89 に記載のデバイスであって、前記宿主は、人間または動物のうちの 1 つであるデバイス。

【請求項 91】

請求項 89 に記載のデバイスであって、前記医用デバイスは、前記宿主内に埋め込み可能な、前記宿主によって着用され、または体外デバイスのうちの 1 つであるデバイス。 20

【請求項 92】

請求項 89 に記載のデバイスであって、前記医用デバイスは、前記宿主の温度を制御するのに用いられる熱制御システムの一部であるデバイス。

【請求項 93】

請求項 88 に記載の医用デバイスであって、前記医用デバイスは、心臓補助デバイス、肺補助デバイス、透析デバイス、血漿泳動デバイス、血液ポンプデバイス、薬剤送出デバイス、IV デバイス、および医用呼吸器のうちの 1 つである医用デバイス。

【請求項 94】

請求項 88 に記載の医用デバイスであって、前記流体は、空気、尿、血液、薬用成分、血漿、および食物混合物のうちの 1 つであるデバイス。 30

【請求項 95】

請求項 50 に記載のデバイスであって、第 1 ステージは第 2 ステージの上にスタックされるデバイス。

【請求項 96】

請求項 50 に記載のデバイスであって、第 1 ステージは第 2 ステージの中に配置されるデバイス。

【請求項 97】

請求項 50 に記載のデバイスであって、第 1 ステージは第 2 ステージと直線状にアラインされるデバイス。 40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願との相互参照

【0002】

本願は、Electroactive Polymer Devices For Moving Fluidと題されたPelrine, et al . による 2002 年 3 月 18 日に提出された同時係属中の米国特許仮出願第 60/365,472 号の優先権を 35 U.S.C. § 119(e) の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用される。

【0003】

本願は、Electroactive Polymer Thermal Electric Generatorsと題された2001年2月23日に出願された同時係属中の米国特許出願第09/792,431号の部分継続出願であり優先権を主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用され、前記出願は、ELECTROELASTOMERS AND THEIR USE FOR POWER GENERATIONと題されたQ. Pei et al.を発明者とする2000年2月23日に出願された米国特許仮出願第60/184,217号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用され、前記出願はまた、ARTIFICIAL MUSCLE GENERATORと題されたJ. S. Eckerle et al.を発明者とする2000年3月17日に出願された米国特許仮出願第60/190,713号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用される。 10

【0004】

本願は、Rolled Electroactive Polymersと題された2002年5月21日に出願された同時係属中の米国特許出願第10/154,449号の部分継続出願であり優先権を主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用され、前記出願は、2001年5月22日に出願された米国特許仮出願第60/293,003号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用される。

【0005】

本願は、Variable Stiffness Electroactive Polymer Systemsと題された2002年1月16日に出願された同時係属中の米国特許出願第10/553,511号の部分継続出願であり優先権を主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用され、前記出願は、2001年5月22日に出願された米国特許仮出願第60/293,005号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用され、前記出願は、Enhanced Multifunctional Footwearと題された米国特許仮出願第60/327,846号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用される。 20

【0006】

本願は、Improved Electroactive Polymersと題された2000年7月20日に出願された同時係属中の米国特許出願第09/619,847号の部分継続出願であり優先権を主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用され、前記出願は、High-speed Electrically Actuated Polymers and Method of Useと題されたR. E. Pelrine et al.を発明者とする1999年7月20日に出願された米国特許仮出願第60/144,556号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用され、前記出願は、Electrostrictive Polymers As Microactuatorsと題されたR. E. Pelrine et al.を発明者とする1999年9月10日に出願された米国特許仮出願第60/153,329号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用され、前記出願は、Artificial Muscle Microactuatorsと題されたR. E. Pelrine et al.を発明者とする1999年10月25日に出願された米国特許仮出願第60/161,325号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用され、前記出願は、Field Actuated Elastomeric Polymersと題されたR. D. Kornbluh et al.を発明者とする2000年2月9日に出願された米国特許仮出願第60/181,404号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用され、前記出願は、Polymer Actuators and Materialsと題されたR. E. Pelrine et al.を発明者とする2000年3月8日に出願された米国特許仮出願第60/187,809号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用され、前記出願は、Polymer Actuators and Materials IIと題されたR. D. Kornbluh et al.を発明者とする2000年3月27日に出願された米国特許仮出願第60/192,237号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用され、前記出願は、Electroelastomers and their use for Power Generationと題されたR. E. Pelrine et al.を発明者と 40 50

する2000年2月23日に出願された米国特許仮出願第60/184,217号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用される。

【0007】

本願は、Electroactive Polymer Sensorsと題された2001年12月6日に出願された同時係属中の米国特許出願第10/007,705号の部分継続出願であり、この出願は、2001年5月22日に出願された米国特許仮出願第60/293,004号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用され、前記本願は、2000年4月5日に出願された米国特許仮出願第60/194,817号から優先権を主張し、これら全ての出願は全ての目的のためにここで参照によって援用される。

10

【0008】

本願は、Devices and Methods for Controlling Fluid Flow Using Elastic Sheet Deflectionと題された2002年1月31日に出願された同時係属中の米国特許出願第10/066,407号の部分継続出願であり優先権を主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用される。

【0009】

本願は、Monolithic Electroactive Polymersと題された2001年2月7日に出願された同時係属中の米国特許出願第09/779,203号の部分継続出願であり優先権を主張し、この出願は、米国特許仮出願第60/181,404号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、この出願は全ての目的のためにここで参照によって援用される。

20

【0010】

本願は、Heim, et al.によるElectroactive Polymer Rotary Motorsと題された2002年2月28日に出願された同時係属中の米国特許出願第10/090,430号の部分継続出願であり、この出願は、Electroactive Polymer Motorsと題された2001年3月2日に出願された米国特許仮出願第60/273,108号の優先権を35 U.S.C. § 119(e)の下で主張し、これら出願は全ての目的のためにここで参照によって援用される。

【0011】

本願は、Electroactive Polymer Devices for Controlling Fluid Flowと題されたHeimらによる2003年3月5日に出願された同時係属中の米国特許出願第10 / 号に関連し、その全体が全ての目的のためにここで参照によって援用される。

30

【0012】

本発明は、電気エネルギーおよび機械エネルギー間で変換する電気活性ポリマーデバイスに大きくは関する。より具体的には、本発明は、1つ以上の電気活性ポリマートランスデューサを備えるポンプ装置に関する。

【背景技術】

【0013】

流体システムは広く存在する。自動車産業、配管産業、化学プロセス産業、コンピュータ産業、冷凍／冷却産業、家庭器具産業、および航空宇宙産業は、流体システムが非常に重要ないくつかの例である。たいていの流体システムにおいて、流体システム中の流体について熱力学的仕事を実行することがしばしば望まれる。ポンプまたはファンの場合におけるような熱力学的仕事は、流体システム内の流体をある位置から、流体システム内の別の位置へ移動させるのに必要なエネルギーを提供するのに用いられえ。他の例として、熱力学的仕事は、冷凍システム内の流体を気相から液体へ圧縮すること、または自動車のエンジンの中のように燃焼システム内の流体を燃焼前に圧縮することのように、流体を所望の熱力学的状態に置くために用いられえ。さらに他の例として、熱力学的仕事は、油圧リフトまたは油圧制御システムのようなエネルギーの転換の手段としてエネルギー流体に対して実行されえ。

40

【0014】

一般に、ポンプ、ファンおよび圧縮器は、家庭用および産業用の両方の広い範囲の応用例を有する。例として、ポンプ、ファンおよび／または圧縮機は、冷却システム（例えば

50

エアコン、冷凍)において冷媒を循環させ、廃熱を除去すること、洗浄機器および自動皿洗い機で水を吐出させること、コンピュータ産業で熱源(例えばCPU)からの廃熱を除去すること、空気圧システムのために空気を加圧すること、灌漑のために水を運ぶこと、パイプライン内で油およびガスを輸送すること、および化学プロセスプラント内のさまざまなユニット動作間で流体を動かすことのために用いられる。ポンプおよび圧縮機はまた、例えば透析のため、または外科的治療のあいだに血液を循環させるために医用応用例で広く用いられる。

【0015】

ポンプ、ファンおよび圧縮機は、熱力学的仕事を流体に行うために何世紀も存在している。従来のポンプおよび圧縮機は、電気モータでのピストン駆動が主であり、これら従来の装置は、重く(かさばり)、雑音を出し、低速では非効率(または高速をステップダウンするためにギアボックスを必要とする)であり、機械的に複雑で高価でありえる。電気モータは、一般に50~500Hzの範囲で動作するように設計される。これらのモータは、ふつう可聴範囲で動作し、適切なポンプまたは圧縮機の周波数にギアダウン(コスト、重量、非効率さ、および複雑さが伴う)される必要がある。多くの応用例について、より軽量で、より高出力で、かつ効率よく、より静粛で、かつ低コストなポンプ、ファン、圧縮機、および油圧装置の要求がある。

10

【0016】

電気エネルギーを機械エネルギーに、またはその逆に変換できる新しいハイパフォーマンスポリマーがさまざまなエネルギー変換応用例について今や利用可能である。これらポリマーの一つの種類である電気活性エラストマー(誘電体エラストマー、電気エラストマー、またはEPAMとも呼ばれる)がますます注目されてきている。電気活性エラストマーは、高エネルギー密度、応力、および電気機械結合効率を示しえる。これらポリマーのパフォーマンスは、ポリマーが面積で予め歪みを与えられる(prestrained in area)とき顕著によくなる。例えば、面積が10倍から25倍に増加すると多くの電気活性エラストマーのパフォーマンスは改善する。これら材料を用いて作られたアクチュエータおよびトランスデューサは、流体システム中の流体に熱力学的仕事を実行するのに用いられる従来の技術に比較すると、大幅に安く、軽く、より広い動作範囲を有しえる。

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0017】

よって流体システム中の流体に熱力学的仕事を実行するのに用いられる装置においてこれら高パフォーマンスポリマーを実現する改良された技術が望まれる。

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明は、ポンプ、圧縮機およびファンのような熱力学的仕事を流体に行うデバイスに記述する。熱力学的仕事は、流体を動かす駆動力を提供するのに用いられえる。流体になされた仕事は、油圧駆動デバイス内のピストンのような他のデバイスに伝達されえる。このデバイスは、電界の印加に応答して撓む電気活性ポリマーを持つ1つ以上の電気活性ポリマトランスデューサを含みえる。電気活性ポリマーは流体と接触しえ、ここで電気活性ポリマーの撓みは熱力学的仕事を流体に行うのに用いられえる。本デバイスは、人間の可聴範囲より上、または下の音響信号を作る動作条件のような複数の動作条件において効率的に動作するよう設計されえる。本デバイスは、冷凍システム、冷却システムおよびヒーティングシステムのような熱制御システム内で使用されえる。

40

【0019】

本発明のある局面は、熱力学的仕事を流体に行うデバイスを提供する。このデバイスは以下のものを備えるとして大きくは特徴付けられえる。すなわちi)1つ以上のトランスデューサであって、それぞれのトランスデューサは少なくとも2つの電極、および前記少なくとも2つの電極に電氣的に接続する電気活性ポリマーを備え、前記電気活性ポリマーの一部は、電界の変化に応答して第1位置から第2位置に撓むように構成される、1つ以

50

上のトランスデューサ、流体に接触し、前記1つ以上のトランスデューサに動作可能に結合された少なくとも1つの表面であって、前記電気活性ポリマーの前記一部の前記撓みは、前記熱力学的仕事は前記流体に行われるようにし、前記熱力学的仕事は前記流体に前記1つの表面を介して伝達される少なくとも1つの表面である。電気活性ポリマーの一部分の撓みは、1つの表面について回転運動、直線運動、振動運動、またはそれらの組み合わせのうちの1つを発生しえる。熱力学的仕事は、流体を第1位置から第2位置へ移動させる駆動力を提供しえる。

【0020】

デバイスは、ポンプ、圧縮機、油圧アクチュエータおよびファンのうちの1つでありえる。特にデバイスは、空気圧縮機、ペローズポンプ、燃料ポンプおよび遠心ポンプのうちの1つでありえる。デバイスは、冷凍システムのためのポンプまたは圧縮機のうちの1つである。

10

【0021】

デバイスは、換気システム内で用いられるファンでありえ、流体は空気である。デバイスは、第2デバイス中の1つ以上の位置における温度を制御する熱制御システム内で用いられえ。例として、第2デバイスはコンピュータであり、位置群のうちの1つはコンピュータのためのマイクロプロセッサの近傍である。前記流体は、熱エネルギーを第1位置から、前記第2デバイス中の第2位置へ伝導するのに用いられえ。特定の実施形態において、前記流体の少なくとも一部は、液相である。

【0022】

特定の実施形態において、デバイスは、前記流体を受け取るチャンバであって、前記チャンバの境界表面は、前記1つの表面を含むチャンバをさらに備えうる。前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記チャンバの容積の変化を引き起こす。前記チャンバ内の前記容積の前記変化は、前記流体を圧縮し、前記流体を膨張させ、前記チャンバ内に流体を引き込み、または前記チャンバから流体を追い出しえる。前記チャンバ内の前記容積の前記変化は、液体から気体へ、または気体から液体へのような、前記流体の少なくとも一部における熱力学的相変化を引き起こしえる。

20

【0023】

他の実施形態において、前記チャンバは、ブラッダまたはペローズのうちの1つから形成されえ。前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記ブラッダまたはペローズを押して、前記ブラッダまたはペローズの容積を減少させえ。前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記ブラッダまたはペローズを伸ばして、前記ブラッダまたはペローズの容積を増加させえ。さらに他の実施形態において、前記チャンバはシリンダおよびピストンから形成され、前記1つの表面は、ピストンヘッドの一部でありえる。

30

【0024】

他の実施形態において、デバイスは、ファンブレードをさらに備え、前記1つの表面は前記ファンブレードの表面の一部でありえる。前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記ファンブレードを回転させえ。前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、1) 前記ファンブレードの形状が前記ファンブレードの空気力学的パフォーマンスを変えるようにしえ、2) 前記ファンブレードのピッチが変化するようにしえ、3) 前記ファンブレードの空気弾性特性または空気音響特性のうちの1つにおける変化を引き起こしえる。前記ファンブレードは、ファン、ポンプまたは圧縮機内の要素でありえる。

40

【0025】

前記デバイスは、前記流体が前記デバイスを通して移動することを可能にするフローパスの少なくとも一部を提供するのに用いられる1つ以上の流体導管、および前記フローパスを通る前記流体のフローレート、フロー方向、およびそれらの組み合わせのうちの1つを制御する1つ以上のバルブをさらに備えうる。前記1つ以上のバルブはチェックバルブでありえる。前記デバイスは、前記流体に熱エネルギーを与えたり、取り除いたりする熱交換機をさらに備えうる。特定の実施形態において、前記電気活性ポリマーの1つ以上の部分は、前記熱交換機として振る舞いえる。

50

【0026】

他の実施形態において、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記1つの表面内に波状運動を誘起し、前記波状運動は前記熱力学的仕事を前記流体に行いえる。前記デバイスは、流体導管をさらに備え、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記流体導管内に蠕動運動を発生することによって、前記流体を前記流体導管を通して移動させえ、または前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記流体導管内に蠕動運動を発生することによって、前記流体導管内の前記流体を前記導管を通して移動させえる。前記流体導管の一部は、EPAMロールトランスデューサから構成されえる。

【0027】

他の実施形態において、本デバイスは、強制戻りメカニズムであって、前記強制戻りメカニズムは、前記電気活性ポリマーの前記部分が前記第2位置から前記第1位置へ戻る力の少なくとも一部を提供する強制戻りメカニズムをさらに備えうる。前記強制戻りメカニズムはバネでありえる。前記デバイスは、前記電気活性ポリマーの前記部分の撓みの方向にバイアスするバイアスメカニズムをさらに備えうる。前記バイアスメカニズムは、バネ、または挿入のうちの1つでありえる。デバイスは、前記流体中の圧力から発生された油圧力を受け取る出力軸をさらに備え、前記電気活性ポリマーの前記部分の撓みは、前記流体内の前記圧力を増加させ、前記出力軸を動かす油圧力を提供する。

【0028】

さらに他の実施形態において、前記デバイスは、多段ポンプまたは多段圧縮機のうちの1つのうちのステージでありえる。前記デバイスの動作によって発生される音響信号が人間の可聴領域より上、または下でありえる。さらに、前記電気活性ポリマーの前記部分が撓む動作周波数は、人間の可聴領域よりも上、または下である。例えば、前記動作周波数は30Hz未満でありえる。

【0029】

前記デバイスは、前記1つ以上のトランスデューサおよび前記1つの表面を収める筐体をさらに備えうる。前記筐体の高さの二乗を前記筐体のフットプリント面積で割ったものとして定義される平坦さのパラメータが実質的に1より小さくありえる。特に前記平坦さのパラメータは約0.1より小さくありえる。あるいは前記平坦さのパラメータは約0.05より小さくありえる。さらに前記平坦さのパラメータは約0.01より小さくありえる。

【0030】

特定の実施形態において、前記デバイスは、複数の開口を持つクランププレートをさらに備え、前記電気活性ポリマーは、前記複数の開口の中へ撓むよう設計された電気活性ポリマーフィルムでありえる。さらに、前記デバイスは、前記クランププレートにマウントされ、前記クランププレートおよび前記下部チャンバ間の前記フィルムを固定するよう設計された下部チャンバをさらに備えうる。前記流体を受け取るポンプチャンバは、前記下部チャンバの表面の部分および前記フィルムの表面の部分によって形成されえる。前記下部チャンバは、前記流体を前記ポンプチャンバに導き、前記流体を前記ポンプチャンバから遠ざけるように導く1つ以上の流体導管をさらに備えうる。

【0031】

特定の実施形態において、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記1つの表面を第1形状から第2形状に変化させえる。例えば、前記1つの表面は、風船形状、半球形状、円筒形状、または半円筒形状のうちの1つを形成するように膨張しえる。前記1つの表面は、前記1つ以上のトランスデューサに機械的リンケージを介して動作可能に結合されえる。さらに前記1つの表面は、前記電気活性ポリマーの前記部分の外側表面でありえる。

【0032】

前記流体は、圧縮性、非圧縮性、またはそれらの組み合わせのうちの1つでありえる。前記流体は、同質または異質のうちの1つでありえる。さらに前記流体は、ニュートンまたは非ニュートン流体として振る舞いえる。前記流体は、混合物、スラリー、懸濁液、2

10

20

30

40

50

つ以上の不混和性液体の混合物、およびこれらの組み合わせからなるグループから選択されえる。前記流体は、液体、気体、プラズマ、固体、相変化、およびこれらの組み合わせからなるグループから選択される状態にある1つ以上の成分を含みえる。

【0033】

他の実施形態において、前記電気活性ポリマーは、シリコンエラストマー、アクリルエラストマー、ポリウレタン、P V D Fを含む共重合体、およびそれらの組み合わせからなるグループから選択されえる。前記デバイスは、前記1つの表面を前記1つの表面と接触する前記流体の成分から保護するよう設計または構成される絶縁バリアと共に、前記1つ以上のトランスデューサに固定するよう設計または構成される1つ以上の支持構造をさらに備えうる。前記電気活性ポリマーは、前記第1位置において弾性的に予歪みが与えられることによって、前記第1位置および第2位置の間の前記電気活性ポリマーの機械的応答を改善しえる。前記電気活性ポリマーは、約100MPa未満の弾性率を有しえ、前記第1位置および前記第2位置の間で少なくとも約10パーセントの弾性領域歪みを有しえる。

10

【0034】

ポリマーは多層構造を備え、前記多層構造は、電気活性ポリマーの2つ以上のレイヤを備える。前記デバイスは半導体基板上に製造されえる。

【0035】

本発明のこれらおよび他の特徴および優位性は、以下の本発明の説明および関連する図面において記載される。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0036】

本発明は、添付の図面に図示されるいくつかの好ましい実施形態を参照して詳細に記載される。以下の記載においては多くの特定の詳細が述べられるが、これは本発明の完全な理解を促すためである。しかし当業者には明らかなように、本発明は、これら具体的な詳細の一部または全てがなくても実施できる。あるいは既知のプロセスステップおよび／または構造は本発明の趣旨を不必要にぼかさないために詳細には記載されていない。

【0037】

1. 電気活性ポリマー

【0038】

セクション1では、流体に熱力学的仕事を実行する本発明の電気活性ポリマー（EPAM）フロー制御デバイスを記載する前に、電気活性ポリマーの構成および動作の基本原則が図1Aおよび図1Bを参照してまず説明される。セクション2では、ポンプ、圧縮機、ファンおよび油圧シリンダ（hydraulic cylinders）のようなEPAMトランスデューサを持つデバイスおよびシステムの実施形態およびそれらの動作が図2A～2Kおよび3A～3Jを参照して記載される。セクション3において、本発明のEPAMトランスデューサの実施形態が図4A～4Nを参照して記載される。セクション4において、検出応用例が記載される。セクション5において、本発明の調整電子回路が図5Aおよび5Bについて記載される。セクション6において生物学的応用例、自動車への応用例および印刷への応用例のようないくつかの応用例が記載される。

30

40

【0039】

本発明のデバイスにおける電気および機械エネルギー間の変換は、電気活性ポリマーの1つ以上の活性領域のエネルギー変換に基づく。電気活性ポリマーは、機械エネルギーおよび電気エネルギーの間で変換できる。場合によっては、電気活性ポリマーは、変化する機械的歪みによって電気的特性（例えばキャパシタンスおよび抵抗）を変化させることができる。

【0040】

電気エネルギーおよび機械エネルギーの間の変換における電気活性ポリマーのパフォーマンスを示すのを助けるため、図1Aは、本発明のある実施形態によるトランスデューサ部10の上透視図である。トランスデューサ部10は、電気エネルギーおよび機械エネル

50

ギー間の変換を行う電気活性ポリマー１２の部分を含む。ある実施形態において、電気活性ポリマーとは、２つの電極間の絶縁誘電体として機能し、２つの電極間の電圧差の印加に応じて撓みえるポリマー（「誘電体エラストマー」）を指す。上部および下部電極１４および１６は、それぞれ電気活性ポリマー１２にその上部および下部表面上で取り付けられ、ポリマー１２にわたり電圧差を提供するか、またはポリマー１２から電気エネルギーを受け取る。ポリマー１２は、上部および下部電極１４および１６によって提供される電界の変化で撓みえる。電極１４および１６によって提供される電界の変化に応じたトランスデューサ部１０の撓み（deflection）は、「駆動」（actuation）と呼ばれる。駆動は典型的には電気エネルギーの機械エネルギーへの変換を伴う。ポリマー１２がサイズの点で変化すると、撓みは機械的仕事を作りだすのに用いられえ。 10

【００４１】

特定の理論に縛られたいわけではないが、ある実施形態においてはポリマー１２は、電わいの振る舞うと考えられえ。電わい（electrostrictive）という語は、電界の二乗に対する材料の応力（stress）および歪み（strain）応答を記述するために一般的な意味でここでは用いられる。この語は、しばしば電界によって誘導された分子内力から起きる電界中の材料の歪み応答を指すのに専ら用いられるが、ここではこの語はもっと一般に電界の二乗に対する応答を起こす他のメカニズムを指す。電わいは、応答が電界に比例するのではなく、電界の二乗に比例するという点で圧電的振る舞いとは区別される。伸展性電極を持つポリマーの電わいは、電極上の自由電荷間で発生する静電力（「マクスウェル応力」と呼ばれることもある）から生じえ、電界の二乗に比例する。この場合の実際の歪み 20
応答は、ポリマーの内部および外部力に依存してかなり複雑でありえが、この静電圧力および応力は電界の二乗に比例する。

図１Ｂは、撓みを含むトランスデューサ部１０の上透視図である。一般に撓みとは、任意の変位、伸長、収縮、ねじれ、直線または面歪み、またはポリマー１２の一部の任意の他の変形を言う。駆動のために電極１４および１６に印加された、または電極によって印加された電位差に対応する電界の変化は、ポリマー１２内に機械的圧力を作る。この場合、電極１４および１６によって作られた異極の電荷は、互いに引きつけられ、電極１４および１６の間に圧縮力を提供し、ポリマー１２上に平面方向１８および２０に伸長力を提供し、ポリマー１２が電極１４および１６間で圧縮し、平面方向１８および２０で伸長するように作用する。 30

【００４２】

電極１４および１６は伸展性があり、ポリマー１２と共に形状を変化させる。ポリマー１２および電極１４および１６の構成は、歪みに対するポリマー１２の応答を増すよう働く。より具体的にはトランスデューサ部１０が撓むと、ポリマー１２の圧縮は、電極１４および１６の反対の電荷をより近くし、ポリマー１２の伸長は、それぞれの電極における同じ電荷を分離する。ある実施形態において、電極１４および１６のうちの一つはグラウンドに接続される。駆動のため、トランスデューサ部１０は、機械的応力が、撓みを駆動する静電力とバランスするまで一般に撓み続ける。機械的応力には、ポリマー１２材料の弾性回復力、電極１４および１６のコンプライアンス、およびトランスデューサ部１０に結合されたデバイスおよび／または負荷によって提供される任意の外部抵抗が含まれる。 40
印加された電圧の結果としてのトランスデューサ部１０の撓みは、ポリマー１２の誘電体定数およびポリマー１２のサイズのような多くの他のファクタにも依存する。

【００４３】

本発明による電気活性ポリマーは、任意の方向に撓むことが可能である。電極１４および１６間に電圧を印加した後、電気活性ポリマー１２は、平面方向１８および２０の両方においてサイズが増す。場合によっては電気活性ポリマー１２は非圧縮性であり、例えば応力の下で実質的に一定体積を有する。この場合、ポリマー１２は、平面方向１８および２０における膨張の結果、厚さが減る。本発明は、非圧縮性ポリマーに限定されず、ポリマー１２の撓みはそのような単純な関係に従わないかもしれない。 50

【００４４】

比較的大きな電圧差を図1Aに示されるトランスデューサ10の電極14および16間に印加することによって、トランスデューサ部10は図1Bに示されるようにより薄く、大きな面積の形状に変化させられる。このようにしてトランスデューサ部10は、電気エネルギーを機械エネルギーに変換する。トランスデューサ部10はまた、機械エネルギーを電気エネルギーに変換するのにも用いられえ。

【0045】

駆動するにはトランスデューサ部10は、機械的力が撓みを駆動する静電力と釣り合いがとれるまで一般に撓み続ける。機械的力には、ポリマー12材料の弾性回復力、電極14および16のコンプライアンス、およびトランスデューサ部10に結合されたデバイスおよび／または負荷によって提供される任意の外部抵抗が含まれる。印加された電圧の結果としてのトランスデューサ部10の撓みは、ポリマー12の誘電体定数およびポリマー12のサイズのような多くの他のファクタにも依存する。

【0046】

ある実施形態において電気活性ポリマー12は予歪みが与えられる（pre-strained）。ポリマーの予歪みは、1つ以上の方向における、予歪みの前のある方向における寸法に対する予歪み後のその方向における寸法の変化として記述されえ。予歪みは、ポリマー12の弾性変形を含みえ、例えばポリマーを張力下で伸長し、伸長させながらも1つ以上のエッジを固定することによって形成されえ。以下に詳述されるようにあるいは、スプリングのようなメカニズムが電気活性ポリマーの異なる部分に結合されえ、ポリマーの部分に歪みを与える力を提供しえ。多くのポリマーについて、予歪みは電気および機械エネルギー間の変換を改善する。改善された機械応答は、電気活性ポリマーについてのより大きな機械的仕事、例えばより大きな撓みおよび駆動圧力を可能にする。ある実施形態において予歪みは、ポリマーの誘電体強度を改善する。他の実施形態においては予歪みは弾性的である。駆動の後、弾性的に予歪みが与えられたポリマーは原理的には固定されず、その元の状態に戻る。

【0047】

ある実施形態において、予歪みは、等方性予歪みポリマーを作るためにポリマー12の部分にわたって均一に加えられる。例として、アクリル弾性ポリマーは、200から400パーセントだけ両方の方向において伸長されえ。他の実施形態において予歪みは、異方性予歪みポリマーを作るために、不均一に、ポリマー12の部分について異なる方向で与えられる。この場合、ポリマー12は駆動されると、ある方向においては他の方向よりもより大きく撓みえ。理論に縛られたいのではないが、ポリマーにある方向で予歪みを与えることは、予歪み方向においてポリマーの剛性を増しえ。これに対応しポリマーは、高予歪み方向において比較的、剛性が高く、低予歪み方向においてはよりコンプライアンスが高く、駆動されると、低予歪み方向においてより大きい撓みが発生する。ある実施形態において、トランスデューサ部10の方向18の撓みは、垂直な方向20における大きな予歪みを利用することによって向上されえ。例えばトランスデューサ部10として用いられるアクリル弾性的ポリマーは、方向18において10%だけ伸長されえ、方向20においては500%だけ伸長されえ。ポリマーの予歪みの量は、ポリマー材料、およびある応用例でのポリマーの所望のパフォーマンスに依存しえ。本発明と共に用いるのに適した予歪みは、共通して所有された、同時係属中の米国特許出願第09/619,848号にさらに記載され、全ての目的のためにここで参照によって援用される。

【0048】

一般にポリマーに予歪みが与えられた後、それは1つ以上の物体または機構に固定されえ。剛性のある物体については、その物体は好ましくは適当に剛性があり、ポリマーに所望の予歪みのレベルを維持する。ポリマーを歪ませるための力を提供するスプリングまたは他の適切な機構が、ポリマーにおいてそのスプリングまたは機構に取り付けされる前の以前に確立された任意の予歪みに加えられるか、またはポリマー中の予歪みの全てについて原因となりえ。化学的接着、接着層または材料、機械的固定などのようなこの技術で知られる任意の従来の方法によって、ポリマーは1つ以上の物体または機構に固定さ

れえる。

【0049】

本発明のトランスデューサおよび予歪みを与えられたポリマーは、特定の巻き取られた幾何学的構成または撓みのタイプに限定されない。例えば、ポリマーおよび電極は、円筒および多層巻き取り円筒、複数の堅い構造物間に取り付けられた巻かれたポリマー、曲面または複雑な幾何学的構成を含む任意の幾何学的構成のフレームにわたって取り付けられた巻かれたポリマーなどを含む任意の幾何学的構成および形状に形成されえる。同様の構造は、平坦なシートのポリマーと共に用いられえる。本発明によるトランスデューサの撓みは、1つ以上の方向における直線的膨張または圧縮、屈曲、ポリマーが巻かれているときは軸方向撓み、ポリマーの周りの外側円筒上に設けられた穴から出る撓みなどを含む。トランスデューサの撓みは、ポリマーが、そのポリマーに取り付けられたフレームまたは堅い構造によってどの程度制約を受けるかによって影響を受ける。 10

【0050】

本発明の電気活性ポリマーとして用いられるのに適した材料には、静電力に応答して変形する、またはその変形が電界の変化につながる任意の実質的に絶縁性のポリマーまたはラバー（またはそれらの組み合わせ）が含まれる。ある適切な材料は、カリフォルニア州、CarpenteriaのNuSil Technologyによって提供されるNuSil CF19-2186である。予歪みを与えられたポリマーとして用いられるのに適する他の例示的材料には、シリコンエラストマー、ミネソタ州、St. Paulの3M Corporationによって製造されるアクリルエラストマーのようなアクリルエラストマー、熱可塑性エラストマー、P V D Fを含む共重合体、圧力 20
に敏感な接着材料、フッ化エラストマー、シリコンおよびアクリル成分を含むポリマーなどが含まれる。シリコンおよびアクリル成分を含むポリマーには、シリコンおよびアクリル成分を含む共重合体、シリコンエラストマーおよびアクリルエラストマーを含むポリマー混合物などが含まれる。これら材料のいくつかの組み合わせも本発明のトランスデューサ中の電気活性ポリマーとして用いられえる。

【0051】

電気活性ポリマーとして用いられる材料は、高電気絶縁破壊強度、低弾性率（大きいまたは小さい変形について）、高誘電率などの1つ以上の材料特性に基づいて選択されえる。ある実施形態においては、多くても約100MPaの弾性率を有するようにポリマーは選択される。他の実施形態においてポリマーは、それが約0.05MPaおよび約10MPa 30
の間の、好ましくは約0.3MPaおよび約3MPaの間の最大駆動圧力を有するように選択される。他の実施形態においてポリマーは、それが約2および約20の間の、好ましくは約2.5および約12の間の誘電率を有するように選択される。本発明は、これら範囲に限定されない。理想的には、もしその材料が高誘電率および高誘電体強度の両方を有するなら、上に与えられた範囲より高い誘電率を持つ材料が望ましい。

【0052】

本発明のトランスデューサの電気活性ポリマーレイヤは、広い範囲の厚みを持ちえる。ある実施形態において、ポリマーの厚さは、約1マイクロメートルおよび2ミリメートルの間の範囲にある。ポリマー厚さは、1つまたは両方の平面方向においてフィルムを伸長することによって小さくされえる。多くの場合、本発明の電気活性ポリマーは、薄膜として製造および実現される。これら薄膜に適した厚さは、50マイクロメートル未満であり 40
える。

【0053】

本発明の電気活性ポリマーは高い歪みにおいて撓みえるので、ポリマーに取り付けられた電極も機械的または電氣的パフォーマンスで妥協することなく撓む必要がある。一般に本発明と共に用いるのに適する電極は、それらが適切な電圧を電気活性ポリマーに印加し、または適切な電圧をそれから受け取ることができる任意の形状および材料でありえる。電圧は、一定または時間とともに可変のいずれでもありえる。ある実施形態において、電極はポリマーの表面に接着する。ポリマーに接着する電極は、好ましくはコンプライアンスがあり、ポリマーの形状変化に追従する。対応して、本発明は、それらが取り付けられ 50

た電気活性ポリマーの形状に適合するコンプライアンスを持つ電極を含みえる。電極は、電気活性ポリマーの一部分だけに適用されえ、その幾何学的形状によってアクティブ領域を定義しえる。電気活性ポリマーの一部だけを覆う電極のいくつかの例は、以下に詳述される。

【0054】

本発明と共に用いるのに適するさまざまなタイプの電極は、共有された同時係属中の米国特許出願第09/619,848号に記載され、上ですでに参照によって援用された。そこで記載された本発明とともに用いるのに適した電極には、金属トレースおよび電荷分配レイヤを含む構造化電極、さまざまな平面外寸法を含む模様付き電極、カーボングリースまたはシルバングリースのような導電グリース、コロイド懸濁液、カーボン微小繊維およびカーボンナノチューブのような高アスペクト比導電材料、およびイオン導電材料の混合物が含まれる。

10

【0055】

本発明の電極に用いられる材料はさまざまである。電極として用いられる適切な材料には、グラファイト、カーボンブラック、コロイド懸濁液、銀および金を含む薄い金属、銀が満たされた、またはカーボンが満たされたゲルまたはポリマー、イオンのまたは電子的に導電性を有するポリマーが含まれる。特定の実施形態において、本発明と共に用いられるのに適切な電極は、ペンシルバニア州のPhiladelphiaのStockwell Rubber Co. Inc.によって製造されるStockwell RTV60-CONのようなシリコンラバーバインダ中の80パーセントカーボングリースおよび20パーセントカーボンブラックを含む。カーボングリースは、マサチューセッツ州のFairhavenのNye Lubricant Inc.によって提供されるNyoGel 756Gのようなタイプである。導電グリースはまた、ニューヨーク州、WaterfordのGeneral Electricによって製造されるRTV 118のようなエラストマーと混合され、ゲル状の導電グリースを提供しえる。

20

【0056】

ある種の電極材料は特定のポリマーとうまく働き、他のものとはうまく働かないということもありえることが理解されよう。例として、カーボン微小繊維は、アクリルエラストマーポリマーとはうまく働くが、シリコンポリマーとはうまく働かない。たいていのトランスデューサについて、コンプライアンスを有する電極について望ましい特性は、以下のうちの1つ以上を含みえる。すなわち低弾性率、低機械的減衰、低表面抵抗、均一な抵抗、化学的および環境的安定性、電気活性ポリマーとの化学的適合性、電気活性ポリマーへの良好な接着性、および滑らかな表面を形成できる性能である。場合によっては、本発明のトランスデューサは、例えばそれぞれのアクティブ領域についての異なる電極タイプ、またはポリマーの反対側上の異なる電極タイプのような2つの異なるタイプの電極を利用しえる。

30

【0057】

2. 流体上に熱力学的仕事を施すEPAMデバイス

【0058】

本発明は、ポンプ、圧縮機、およびファン（図2A～3Jを参照）のような流体上に熱力学的仕事（thermodynamic work）を施すデバイスを記述する。熱力学的仕事は、流体を移動させる駆動力を提供するために用いられえ。流体に施される仕事は、油圧駆動デバイス（hydraulic actuation device）中のピストン（図3Cおよび3D）のような他のデバイスへ伝達されえ。このデバイスは、電界の印加に応答して撓む電気活性ポリマー（例えば図1A～1Bおよび4A～4M）を持つ1つ以上の電気活性ポリマートランスデューサを含みえる。電気活性ポリマーは、電気活性ポリマーの撓みが流体に熱力学的仕事を行うために用いられえ場所で流体と接触しえる。デバイスは、人間の可聴領域より上または下の音響信号を作る動作条件のような、複数の動作条件において効率的に動作するように設計されえ。本デバイスは、冷凍システム、冷却システムおよび加熱システムのような熱制御システム内（例えば図2A～2Dおよび2Iを参照）で用いられえ。

40

【0059】

50

本発明において、流体上に熱力学的仕事を提供するEPAMデバイスが記述される。熱力学の法則は、系およびその周囲の間でのやりとりを扱う。ある定義では、熱力学的仕事は、もし、その系が元々のプロセスと同じ一連の状態を通るが、外界における唯一の影響が重量の上昇である、なんらかの他のプロセスが見つけれらるならその外界に対して系によってなされると言える。例えば、系と考えられる蓄電池は電球を光らせるために放電されえる。もし電球が、非常に大きい導体および重りをぶらさげた糸が巻かれるプーリを有する電気モータと置き換えられたなら、蓄電池は、重りの上昇以外には、同じ一連の状態を通して正味の外界での効果を持たない。よって蓄電池は、元々のプロセスにおいて熱力学的仕事をすると言える。系がその外界に対して仕事をするとき、外界は系から同じ量の仕事を受け取る。系による熱力学的仕事の詳細、および流体システムにおける特定の熱力学的仕事は、Shapiroによる1953, John Wiley and Sons, ISBN 047106691-5である「The Dynamics and Thermodynamics of compressible fluid flow」に記載され、その全体が全ての目的のためにここで参照によって援用される。 10

【0060】

本発明において、流体に熱力学的仕事をするEPAMトランスデューサを持つEPAMデバイスの実施形態が記載される。本発明の流体は、液体、気体、プラズマ、相変化、固体またはこれらの組み合わせの状態にある材料を含みえる。流体は、非ニュートン流体またはニュートン流体として振る舞いえる。さらに流体は、同質または異質でありえる。また流体は、非圧縮性または圧縮性でありえる。本発明の流体の例は、以下に限定されないが、気体、プラズマ、液体、2つ以上の不混和性液体の混合物、超臨界流体、スラリー、懸濁液、およびこれらの組み合わせを含む。 20

【0061】

図2A～2Dは、熱力学的仕事を流体に施す鞭毛状運動を用いる電気活性ポリマー（EPAM）デバイスを示す。図2Aにおいて、支持構造303に取り付けられた4つのEPAMトランスデューサを備えるリニア鞭毛ポンプが示される。EPAMトランスデューサ302は、図4Mに示されるようにロールの形状にされえ、または図4Fおよび4Gに示されるようにフラットシートの形状にされえる。一般にEPAMトランスデューサの幾何学的形状は、その応用例に必要なとされる任意の一般形状に合わせることができる。流体が流れの向きの矢印301によって示されるのとほぼ平行に移動するように、EPAMトランスデューサ302は、支持構造からトランスデューサの末端へと波状の運動を行うよう 30
制御されえる。人が手動の扇を使うやり方と同様に、屈曲要素（電極を持つ電気活性ポリマーに接着された非伸長性要素を備える単一形態構造のような）は、迅速に揺り動かされ空気フローを作る。波状の運動は、扇の自然周波数のうちの1つにおいて動作することによって増幅されえる。

【0062】

流体は、EPAMトランスデューサの駆動の前には滞留していてもよく、または流体は初期速度プロファイルを有していてもよい。EPAMトランスデューサ群303は、独立に制御されえる。例えば、それぞれのトランスデューサ上での波状運動は一般に同じでもよく、異なってもよい。またトランスデューサは、時間によって変化するシーケンスで駆動されえる。例えば波状運動は、トランスデューサの第1ペア上で始められ、他の2 40
つは非アクティブのまま留まり、その後、第1ペアのトランスデューサ上での運動が完了してからトランスデューサの他のペア上での波状運動が始まってもよい。トランスデューサは、同期して、または同期せずに動作しえる。ある実施形態において、もし支持構造303が固定されないなら、トランスデューサによって流体上になされる熱力学的仕事は、支持構造303を前進させるために用いられえ、トランスデューサは流体中を前に進む。

【0063】

図2Bおよび2Cにおいて、ラジアル鞭毛ポンプの実施形態が示される。再び、4つのEPAMトランスデューサが支持構造に取り付けられる。EPAMトランスデューサは、流体を支持構造の中心から半径方向に外側に動かすように制御されえる。例えばもし支持構造が熱源の上に位置するなら、ポンプ305によって発生される半径方向の運動は、加 50

熱された流体を熱源から遠ざけるように移動させるために用いられえ。

【0064】

ある実施形態において、支持構造303は、支持構造303が回転することを許す回転軸にマウントされえ。この実施形態においては、トランスデューサの運動は、支持構造303に角運動量を与えるように発生されえ。この場合、支持構造およびトランスデューサの全ては、流体301の方向の半径方向運動にほぼ垂直である方向に流体を動かすファンのように回転し始めえ。トランスデューサがファンブレードのように振る舞うとき、それらのピッチのようなそれらの形状は、それらの空気力学的効率を増すか、または減らすように制御されえ。ダイナミックEPAMファンブレードのさらなる詳細は、図2Hについて記載される。

10

【0065】

図2Cにおいて、EPAMトランスデューサ302は、4つのトランスデューサのほぼ中心である位置へ流体を半径方向に内側に導くよう構成される。例えば、4つのトランスデューサ間の位置は、パーソナルコンピュータのようなコンピュータシステムの筐体の通気口のようなシステムの通気口でありえ。他の実施形態において、4つのトランスデューサは熱的制御に用いられえ、4つのトランスデューサ間の位置は、暖かい流体が導かれる冷却スポットでありえ。

【0066】

大きくは、本発明の熱力学的仕事を提供するEPAMデバイスは、熱制御システム中の要素として用いられえ。例えば、複数のEPAMデバイスが、マイクロコントローラまたはマイクロプロセッサのような中央コントローラに結線されえ。中央コントローラはまた、フローレートセンサおよび温度センサのような複数のセンサに接続されえ。ある実施形態において、EPAMデバイスは、センサまたはセンシングシステム（セクション4を参照）として働きえ。中央コントローラは、温度センサおよびフローレートセンサをモニタし、EPAMトランスデューサを制御することによってモニタされているシステム内の所定の温度分布を維持しえ。例えば、システムは、冷却または加熱プロセス中に熱的ストレスが物品内に蓄積することを防ぐために非常に均一な熱分布で冷却または加熱されることが必要である製造された物品でありえ。

20

【0067】

図2Dにおいて、可変リニア鞭毛ポンプが示される。この実施形態において、トランスデューサのサイズは可変である。2つの中間トランスデューサは、2つの外側トランスデューサよりも長い。よって中間のフローレートは、外側よりも大きいことがありえ。しかしある実施形態において、この効果は、同じ形状のトランスデューサを、互いに対して単により速く、またはより遅く動かすか、または異なる運動パターンで動かすことによって達成されえ。トランスデューサ302は、冷却フィン307の隣に位置される。冷却フィンは、トランスデューサ302の運動によって冷却フィンを通して動かされる熱を流体から遠ざけるように導くの用いられえ。冷却フィンおよびトランスデューサは、より大きな熱制御システムの一部でありえ。

30

【0068】

ある実施形態において、トランスデューサ302は、熱を流体から遠ざけるように導くために、または熱を熱制御システムの一部として流体に加えるために用いられえ。例えば、トランスデューサは、熱を支持構造303に導くように設計されえ。支持構造303は、ヒートシンク、および熱を支持構造内のヒートシンクから除去する熱導管への接続を含みえ。EPAMポリマーは、熱導体または熱絶縁体として用いられえ。よって、トランスデューサ中のEPAMポリマーの材料特性は、特定のシステムによって要求される材料の熱伝導性を増すか、または減らすように設計されえ。

40

【0069】

ある実施形態において、1～20mmの屈曲要素（すなわち鞭毛）を持つトランスデューサがマイクロチップ冷却に用いられえ。EPAMトランスデューサは、大きな屈曲角が可能でありえ。例えばデバイスは、5～10mmの範囲の270度より大きい屈曲を

50

発生しえる。より大きな屈曲角は、マイクロチップ冷却のためのより大きな流体フローを可能にしえる。

【0070】

1つ以上の屈曲ポリマーファン／ポンプを用いるマイクロチップ冷却は、多くの潜在的優位性を提供する。図2A～2Dに示されるように、屈曲ファンは、容易に多くの異なるやりかたで構成されえ、よってファンがマイクロチップの特定の冷却要件に最適化されることが可能である。ポリマー屈曲要素は、低速において効率的でありえ（電気モータとは異なる）、可聴周波数未満での動作が可能であり、ファンノイズを低減または除去できる。家庭エンターテイメントシステムのような環境のためには、低ノイズは優位性がある。屈曲要素はまた、電磁ベースのマイクロチップファンに見られるベアリングノイズおよびありえる故障をなくす。

10

【0071】

図2E～2Fは、熱力学的仕事を流体に行うペローズを持つ電気活性ポリマー（EPAM）デバイスを示す。図2Eにおいて、ペローズポンプ310のある実施形態が示される。EPAMトランスデューサ302は、支持物313、およびフロー導管を持つ支持構造303の間に接続される。支持物は、支持物313が支持構造とのリンケージポイントを軸にして動けるようにするリンケージによって支持構造303に取り付けられる。支持物および支持構造の間にはブラダ（bladder）312がある。2つのフロー導管314は、ブラダ312によって境界を区切られるチャンバに接続される。

【0072】

20

電圧がEPAMトランスデューサ302に印加されるとき、トランスデューサは伸び、支持物313を押し上げ、バネのような強制戻りメカニズム311に反して動く。上に向かう動きは、ブラダの容積を増し、それによって矢印によって示される方向に流体をブラダ内に引き込む。流体は、ブラダの容積の増加から生まれる吸引力を介してブラダ内に引き込まれる。矢印によって示される方向に流体が流れることを確実にするためチェックバルブがフロー導管314内に含まれえる。トランスデューサから電圧が低減されたり、除去されたりするとき、トランスデューサ302は長さが減り、支持物を下向きに引く。支持物が下向きに引かれると、ブラダ312は押され、流体はブラダから追い出され、デバイス310の前から出る。ブラダ312から出るフローレートは、トランスデューサ302への電圧が減少されるレートによって、および戻りメカニズム311から支持物に与えられる力によって制御されえる。

30

【0073】

図2Fにおいて、ペローズポンプ315の第2実施形態が示される。ペローズポンプは、圧縮されるときアコーディオンのようなやりかたで折り畳むように設計されたブラダ312を含む。ブラダ312は、2つの支持板303の間にマウントされる。流体導管314は、支持板303のそれぞれを通る。流体導管314は、流体が矢印によって示される方向に流れるようにする2つのチェックバルブ316を含む。支持板303は、複数のEPAMトランスデューサ302を介して接続される。ブラダ312は、コイルバネのような強制戻りメカニズム311によって囲まれる。

【0074】

40

エネルギーがEPAMトランスデューサ302に与えられるとき、EPAMトランスデューサ302は、長さが伸び、ブラダ312は容積が増し、流体をブラダ内に引き込み、コイルバネ311を伸ばす。EPAMトランスデューサ302へのエネルギーが取り除かれ、または減少されると、EPAMトランスデューサは収縮し、支持板は、コイルバネによって引きつけられ、ブラダ312の容積を減少させ、ブラダ312からフロー導管を介して流体を追い出す。強制戻りメカニズム（例えばバネ）は必要なく、EPAMデバイス315は強制戻りメカニズムなしで機能しえる。例えば、伸長されるとき、トランスデューサ302内のEPAMポリマー内に発生される機械的力は、EPAMポリマー上の電圧が除去または減少されるときに戻る力を提供しえる。トランスデューサ302はまた、ペローズを完全に取り囲む管状トランスデューサでありえる。管状トランスデュー

50

サは、より詳細に以下に記載される。ペローズポンプの他に本発明は、多くのタイプのポンプ設計において用いられえ。これらポンプ設計は、以下に限定されないが、遠心ポンプ、ダイヤフラムポンプ、ロータリポンプ、ギアポンプ、およびエアリフトポンプを含む。

【0075】

図2Gは、EPAMトランスデューサによって駆動されるピストン、およびそのピストンシリンダの容積を制御するEPAMトランスデューサを持つ、熱力学的仕事を流体に行う電気活性ポリマー（EPAM）デバイス320を示す。ピストン駆動ポンプ320は、流体の動きを矢印の方向に制限するチェックバルブ316を持つ2つの流体導管を含む。ピストン317は、シリンダ318内で上下に動く（322）ように設計される。ピストンが上に動くとき、シリンダおよびピストンによって形成されるポンプチャンバの容積は増加し、流体はポンプチャンバ内に引き込まれる。ピストンが下向きに動くとき、ポンプチャンバの容積は減少し、流体はチャンバから押し出される。

10

【0076】

本発明のある実施形態において、ピストン317の上部表面は、EPAMトランスデューサ323を含みえる。例えば、ピストンが円筒形であるとき、EPAMトランスデューサ323は円筒ダイヤフラムでありえる。EPAMトランスデューサ323は、ポンプチャンバの容積を変化させるように撓みえる。ピストンを用いる従来のデバイスでは、ポンプチャンバの容積は、ピストンがそのストロークの最上部において最大になり、ピストンがそのストロークの最下部において最小になる。最大および最小間の容積と共に、最大および最小容積は、ピストンがシリンダ内でそのパスを移動するときにそれぞれの位置において決まる。本発明では、EPAMトランスデューサ323は、シリンダ内のそのパス上をピストンが動くときに、ポンプチャンバの容積がそれぞれの位置において変化するように撓まされえ。

20

【0077】

EPAMトランスデューサ323を撓ませてポンプチャンバの容積を変化させることによって、デバイスによって押し出される流体の量のようなポンプデバイスの動作条件は、変化されえ。この効果は、ピストンが動作する速度を制御することによって達成されえ。しかしもし、効率目的またはノイズを考慮してのように、ピストンを特定の速度で動かすことが有利であるなら、流体ポンプレートは、ピストンが動くレートを変化させることなく、EPAMトランスデューサ323を撓ませることによってポンプチャンバの容積を変化させることによって変化されえ。

30

【0078】

ピストン317は、2つのEPAMトランスデューサ302によって駆動される。EPAMトランスデューサ302は、電圧がトランスデューサに印加されるとき、方向矢印322によって示されるように長さが増加したり減少したりする。トランスデューサ302に電力を供給するために不図示の調整電子回路および電源（図5A、5Bおよび6参照）が用いられえ。トランスデューサ302によって発生された支持構造303上での動き322の方向の力は、機械的リンケージ319によってシリンダ内のピストン317の動き322を発生するように伝えられえ。従来技術に知られるさまざまな機械的リンケージが存在し、本発明は図2Gに示される例に限定されない。

40

【0079】

ピストン322を駆動するためにEPAMトランスデューサを用いることは、電気モータのような従来のモータの使用に比べて、多くの優位性を有する。1つの優位性は、EPAMトランスデューサ302は一般に重量が電気モータよりも軽いことである。他の優位性は、EPAMトランスデューサは、電気モータよりも多くの動作条件において効率よく動作しえることである。動作条件の柔軟性は、デバイス320からのノイズを最小限にしたり、デバイス出力を制御したりするような問題に対して有利でありえる。例えばEPAMダイヤフラムトランスデューサは、30Hz未満の動作周波数で効率的に流体を吐き出すために用いられえ。モータとして用いられるEPAMトランスデューサの詳細、およ

50

びこれらデバイスのさらなる優位性は、「Electroactive Polymer Rotary Motors」と題されたHeimらによる2002年2月28日出願の同時係属中の米国特許出願第10/090,430号に記載され、これは先にここで援用された。

【0080】

他の実施形態において、ピストン駆動ポンプ320は、圧縮機として用いられえ。デバイス320を圧縮機として使うためには、ピストンがポンプチャンバ内の流体を圧縮しているときに、適切なバルブ設計を用いて流体がポンプチャンバから出ないようにされる。本発明のピストン駆動ポンプ320および他の実施形態と用いられえEPAバルブ設計の詳細は、「Electroactive Polymer Devices for Controlling Fluid Flow」と題されたHeimらによる2003年3月5日出願の同時係属中の米国特許出願第10/ , 10

【0081】

図2Hは、EPAトランスデューサ328によって駆動されるファン325を持つ熱力学的仕事を流体に行う電気活性ポリマー(EPA)デバイス、およびファンブレードの形状および姿勢を制御するEPAトランスデューサを示す。ファン325は、環状プレート329および基台327にマウントされた2つのEPAロールタイプトランスデューサ328を含む。他のタイプのEPAトランスデューサもファン325と用いられえ、ロールタイプトランスデューサ328の使用には限定されない(EPAトランスデューサのさらなる説明についてはセクション3を参照)。環状プレートは、プレート329が回転することを許すリンクエッジによって支持物にマウントされる。支持物は基台327にマウントされる。3つのファンブレードは環状プレート329にマウントされる。 20

【0082】

電圧がロールトランスデューサに印加されるとき、トランスデューサ328は伸び、電圧が取り除かれるとき、トランスデューサは収縮する。電圧をトランスデューサのうちの1つに供給し、反対側のものに対する電圧を除去または減少させることによって、環状プレートは時計回りまたは反時計回りに回転させられえ。ファンの速度(例えば環状プレートの回転レート)は、トランスデューサ328への時間によって変化する電圧を印加することによって制御されえ。

【0083】

ある実施形態において、ファン325の効率はファンブレード326の形状を変化させることによって制御されえ。例えば、それぞれのファンブレード391は、1つ以上のアクティブ領域を持つEPAトランスデューサ391を持つフレーム329を備えうる。ファンブレードの形状は、EPAトランスデューサ391上の1つ以上のアクティブ領域を撓ませることによって変化されえ。複数のアクティブ領域を持つEPAトランスデューサは、図4J~4Mについて記載される。ファンブレードの形状は、その空気力学的パフォーマンスを増加または減少させるように変化されえ。さらにファンブレードの形状は、ファンの特定の動作速度においてブレードから発せられるノイズおよび振動を減少させるように変化されえ(空気音響的特性)、ファンの形状は、ファンブレード内の構造的振動相互作用を制限または変更するように変化されえ(空気弾性特性)。 30

【0084】

ファンブレード326は、ブレードを回転させることによってファンブレードのピッチを変更するように設計される第2EPAトランスデューサ390を含みえる。ブレード326の空気力学的パフォーマンスは、そのピッチの関数でありえ。ある実施形態において、2つのトランスデューサ391および392の代わりに単一の集積されたEPAトランスデューサが、ブレードの形状を変化させ、そのピッチを変化させるために用いられえ。 40

【0085】

図2Iは、熱源331から熱エネルギーを取り除くために熱源331にわたって流体を循環させる電気活性ポリマー(EPA)球状ポンプデバイス330を示す。球状ポンプデバイスは、ポンプチャンバ334の境界表面を形成する球形に形作られたEPAトラ 50

ンスデューサ 333 を含む。本発明は、球形の形状をした E P A M トランスデューサ 333 に限定されず、さまざまな一般の 3 次元形状に変形するトランスデューサが用いられえ

【0086】

球状冷却ポンプ 330 は、熱源 331 の温度を制御する熱制御システムの一部でありえる。ある実施形態において、熱源は、コンピュータデバイス内に位置しえる。例えば熱源は、マイクロプロセッサでありえる。熱制御システムの一部として、球状冷却ポンプ 330 は、流体 336 を運ぶ閉じた流体導管 335 に接続される。動作において、電圧が球状 E P A M トランスデューサ 333 に印加され、これはトランスデューサ内の E P A M ポリマーが外側に向かって撓み、ポンプチャンバ 334 の容積が増加するようにさせる。容積変化は、流体 336 をチャンバ内に引き込む。トランスデューサ 333 への電圧が除去または減少されるとき、E P A M ポリマーは内側に向かって撓み、流体 336 をポンプチャンバ 334 から流体導管 335 へ移動させる。

10

【0087】

熱源 331 の熱制御システムにおいて、流体 336 は、熱源を通して流れるように設計され、ここでは熱源 331 を冷却するために熱エネルギーが熱源 331 から流体 336 に移る。加熱された流体は、熱源 331 から熱交換領域 332 へ流れ、ここで熱エネルギーは流体 336 から移される。冷却された流体は、それから、球状冷却ポンプ 330 によって循環され、熱源 331 を通され、熱源から熱エネルギーを拾う。

【0088】

20

ある実施形態において、流体導管 335 は、液相から気相のような相変化を引き起こす拡張バルブを含みえ、これは冷凍システムではふつうである。相変化は、流体 336 からエネルギーを取り除くために用いられえ。他の実施形態においては、ポンプチャンバの容積が拡張されるときに流体 336 は、液体から気体へのように相状態を変化させえる。相変化は、流体の冷却につながりえる。さらに気体のような流体は、熱源を通して押し出される前にその温度を下げるためにポンプチャンバ内で拡張されえ。

【0089】

特定の実施形態において、球状のトランスデューサは、熱交換領域として働きえる。E P A M ポリマーは、ポンプチャンバ 334 内で流体 336 から熱エネルギーを奪うように伝導するために用いられる伝導レイヤを持つ多層構造として設計されえ。他の実施形態においては、E P A M ポリマーは、流体 336 がチャンバ 334 に入る前に冷やされている場合のように、流体がポンプチャンバ 334 を囲む環境によって加熱されることを防ぐために絶縁レイヤを含みえる。

30

【0090】

図 2 J は、電気活性ポリマー (E P A M) 蠕動ポンプデバイスのある実施形態を示す。蠕動ポンプデバイス 340 は、入り口 342 および出口 343 および流体導管 335 の内側表面上に位置する複数の E P A M ダイアフラムを持つ流体導管 335 を含む。このダイアフラムアレイは、波状の運動、すなわち流体を入り口 342 から出口 343 へ進ませる蠕動運動を発生するよう個別に制御されえ。例えば、ダイアフラムは、入り口 342 から始まり出口へと進む時間の関数として撓まされる。この波状運動は、ダイアフラムがその波状パターンで撓まされるときに、流体を出口に向かってパターンに乗せて運ぶ。

40

【0091】

図 2 K は、電気活性ポリマー (E P A M) 蠕動ポンプデバイス 345 の第 2 実施形態を示す。蠕動ポンプデバイス 345 は、中空の E P A M ロールトランスデューサ 328 (図 4 A ~ 4 E および 4 K ~ 4 M を参照) である流体導管 335 を備える。ロールトランスデューサは、時間の関数として方向 344 にトランスデューサを伝わって移動する波 (例えばトランスデューサの山) を発生するために駆動されえ。波がトランスデューサ 328 に沿って移動するとき、波は流体をその前方へと押しえる。よって流体は、入り口 342 から出口 343 へ移動されえ。波が出口へ移動したあと、連続したポンプ動作を行うために繰り返しパターンで入り口 342 において、再び波が発生されえ。

50

【0092】

他の実施形態において、直径が小さくなることのような直径の変化が、導管を伝わって移動する波として実現しえる。波を発生するためには、狭い直径が異なる位置において導管に沿った時間の関数として実現されえる。導管が狭くされる位置が導管に沿って移動するとき、流体は、導管が狭くされる位置の前方に押し出されえ、これにより蠕動ポンプ運動が作られる。

【0093】

図2 I、2 Jおよび2 Kについて記載されたポンプのある優位性は、ポンプ動作が別個のモータなしで実行されえることである。例えば、図2 I、2 Jおよび2 Kにおいて、トランスデューサ内でのポンプ動作に用いられるE P A Mポリマーの運動は、電池のような電源からE P A Mポリマーへ電圧を供給することによって発生される。従来のピストン駆動ポンプにおいて、ピストンの運動は、電気モータのような別個のモータによって駆動される。モータはシステムの重さをさらに重くする。さらにモータはふつう典型的には、回転速度のような限定された数の運転条件でのみ効率がよい。したがってモータからのエネルギーをその最適動作条件とは異なるレートで用いるためには、追加のギアリングが必要とされえる。よって本発明のE P A Mポンプデバイスは、別個のモータおよびそれに関連する機械的リンケージをなくすことによって従来のポンプシステムよりもずっと軽いという能力を有する。

【0094】

図2 Lおよび2 Mは、ベローズバネロールトランスデューサ600のある実施形態の断面を示す。ベローズバネロールアクチュエータ製造のために、アクリルフィルム（群）のようなE P A M材料は予歪みが与えられ、ベローズバネ601上に巻かれえる。ベローズバネ601は、閉じたチャンバを形成しえる。バネ601は、E P A Mフィルムを張力を持たせて保持する。端部構造351は、ベローズバネの上部を封止するのに用いられえる。ある実施形態においては、端部構造は必要とされない。流体導管は、端部構造を通して伸びることによって、流体336がベローズバネ601によって形成されたチャンバに入ることを可能にする。

【0095】

トランスデューサ353内のE P A Mフィルムが駆動されるとき、E P A Mフィルムが長くなるのでバネは長手方向に伸長しえ、バネ601の内径は増加しえる。もし流体がすでに圧力下にあれば、バネの直径の増加は、デバイス中のより大きなフローレートを可能にする。よって、トランスデューサ内のE P A Mから電圧を加えたり、取り除いたりすることによって、フローレートはベローズバネ601の直径を変化させることによって制御されえる。ポンプ動作のためには、チェックバルブ316が示されるようにトランスデューサ600に追加されえる。E P A Mフィルムが駆動されないとき、ロールは長さが短くなり、バネ間の直径は減少する。この運動は、ベローズバネ601内のチャンバから流体を強制的に出すために用いられえる。

【0096】

図3 Aおよび3 Bは、E P A Mチューブタイプポンプデバイス350の第1実施形態を示す。チューブポンプデバイスは、1つ以上の電気活性ポリマートランスデューサを備えうる。ポンプは、ロールトランスデューサ352内に構成された1つ以上のロールの電気活性ポリマー（E P A M）フィルムを用いて作られえる。E P A Mフィルムは予歪みが与えられても与えられなくてもよい。

【0097】

例として、図3 Aは、E P チューブタイプポンプ350の断面図を示し、ここで電気活性ポリマーのチューブは、両端において堅い端部構造351に取り付けられる。このチューブは、E P A Mを巻くことによって作られ、または浸漬コーティングプロセスを用いて直接に作られえる。好ましい実施形態において、E P チューブは軸方向に伸ばされて、高い予歪みが軸方向に与えられる。予歪みの力は、チューブの外側または内側上で端部構造に取り付けられた堅いロッド395によって支持される。高い予歪みで、チューブの直径

は、ポアソンの収縮（図 3 Aでは不図示）のために中央部では収縮する。2つの1方向（チェック）バルブ 3 1 6 がチューブの内側チャンバに取り付けられる。あるいは、バルブ 3 1 6 は、駆動されるバルブでありえ、適切な時刻においてスイッチングされえる。

【0098】

ある実施形態において、管状筐体が堅いロッド 3 5 9 の代わりに用いられえ。ロールトランスデューサ 3 5 2 および管状筐体の間には、部分的に真空が生成され、ロールトランスデューサ 3 5 2 上に外側に向かうバイアスをかける。他の実施形態においては、発泡材料のようなバイアス材料 3 5 2 が管状筐体およびロールトランスデューサ 3 5 2 の間に用いられて、トランスデューサが伸長する方向とは逆の方向に回復力を発生しえる。

【0099】

図 3 Bにおいて、E P A M が電圧を印加することによって駆動されるとき、E P A M フィルムは、より薄くなり、円周において（半径方向に）伸長し、よってより多くの流体 3 3 6 が1方向バルブ 3 1 6 のうちの1つを通して内側チャンバ内に流れ込むことを可能にする。図 3 Aにおいて、電圧がオフにされるとき、トランスデューサ 3 5 2 内の E P A M フィルムは、円周において収縮し、より高い圧力において流体を他の1方向バルブを通して外に追いやる。よって電圧の連続的印加は、チューブポンプデバイスによって連続的ポンプ動作を可能にする。

【0100】

図 3 A および 3 B に示されるポンプは、その厚さおよびチューブの幾何学的形状が E P A M が座屈しないよう設定される限り、セルフプライミング（流体を引き込むために外側に対してわずかに真空を引く）でありえる。あるいは、もし陽圧の流体（チューブの外部表面に対して）が利用可能であるなら、陽圧は、円周方向の予歪み（pre-strain）または予負荷（pre-load）と共に駆動を行うのに用いられえ。または上述のように、封止された筐体をロールトランスデューサの周囲に追加することによって、バイアス圧力がロールトランスデューサに印加されえ。

【0101】

ポンプ 3 5 0 は、カスケードまたはシリーズ（多段）に作られ、さらに圧力を増しえる（図 3 I および 3 J を参照）。例えば、比較的低い圧力のセルフプライミングポンプを用いて、陽圧の流体を第 2 ポンプに与え、駆動されるときこれがさらに高い圧力を提供する（典型的には第 1 ポンプとは 1 8 0 度位相がずれている）。この多段ポンプは、端と端とが接続されるか、またはスタックにされた要素群から構成されえ（図 3 I および 3 J を参照）。要素は、1つの要素を他の要素内に配置することによってカスケードにされえ（ロシアの人形を互いの中に入れ子にするのと同様に）。管状ポンプ要素は、互いに同心円状に配置されえ。この内部または同心円状カスケードの優位性は、単一の要素の部分がポンプによって作られる総圧力差に曝されることがないことである。

【0102】

この実施形態は、大きな多層 E P A M ポンプの容易な製造、E P 駆動の良好な結合を提供し、高予歪みを可能にし、これは E P A M トランスデューサのパフォーマンスを改善する。またポンプは、良好な充填幾何学的形状を持つインラインポンプのチューブ形状で自然に作られえ。

【0103】

本願において記載される他のポンプの実施形態と共に図 3 A および 3 B のポンプは、多くの応用例で用いられえ。例えば、ポンプ 3 5 0 は、燃料電池の燃料、または燃焼室内の燃焼のための燃料をポンプで送るような、燃料をポンプで送るのに用いられえ。このポンプは、玩具内の流体を動かすのに用いられえ。例えばポンプは、リザーバから流体をポンプで動かすことによって人形が泣くように見せることができる。ポンプは、冷凍の応用例において、または熱制御システムの一部として用いられえ。ポンプは、薬剤吐出のような医薬応用例のために用いられえ。例えば、生物学的応用例において、ポンプは、インシュリンを吐出するのに用いられえ、制御されたかたちでインシュリンが吐出されるように血糖値レベルを計測するセンサを含みえ。他のタイプの薬剤は、当該生物学的

10

20

30

40

50

パラメータ（群）を計測する適切な生物学的センサを持って制御されたやりかたで吐出されえる。

【0104】

一般に、ポンプは、流体をある筐体（例えば導管、ウェル）から他へと、ふつうは低圧力の筐体から高圧力の筐体へと移すのに用いられえる。他の場合は、水を灌漑のために汲み上げるように、流体は低い位置エネルギーの場所から高い位置エネルギーの場所へと移動されえる。さらに他の場合は、ポンプは、流体を開いた、または閉じた構造（例えばパイプまたは灌漑運河）内で移動させるのに用いられえる。

【0105】

ここで記載されるチューブの幾何学的形状および基本的構造はまた、例えば、リニアアクチュエータ、油圧シリンダ、およびスピーカを含む他のデバイスを駆動するために用いられえる。例えば、図3Cおよび3Dは、内部油圧シリンダデバイス（internal hydraulic cylinder device）355を駆動するための図3Aおよび3Bに記載される基本ポンプ構造を集積するある実施形態を示す。油圧シリンダは、ロールトランスデューサ352、端部構造351、および端部構造351間のシリンダを含む。シリンダ359およびガイドベアリング／シール357は、シリンダ359内にフィットする出力軸356をガイドするのに用いられえる。シリンダは、流体336がシリンダ内に流れ込むことを可能にする開口を含む。ガイドベアリング／シール357は、出力軸がスムーズに動き、流体が油圧シリンダ内に留まることを可能にする。油圧シリンダ355は、バネのような強制戻りメカニズム358を含みえる。

【0106】

電圧が図3Dのロールトランスデューサに印加されるとき、ロールトランスデューサは伸長し（353）、シリンダ359から流体336を引き込み、出力軸356は下に向かって引かれる。電圧がロールトランスデューサから取り除かれると、流体はシリンダ内に移動し、出力軸を上に向かって押す。強制メカニズム358も出力軸356を上に向かって動かす力を提供する。ロールトランスデューサへの電圧がオフであるとき、出力軸は図3Cに示されるように完全に伸長される。油圧シリンダは、出力軸356の伸長を介して、他の物体に対して仕事を行うために用いられえる。

【0107】

図3Eは、EPAMチューブポンプデバイスの第2実施形態を示す。この実施形態において、図3Aおよび3Bの堅い支持ロッドは、チューブに軸方向の予歪みを与えるために1つ以上のバネで置き換えられえる。バネは、駆動されるとき、チューブが長さ方向に伸長することを可能にする。他の実施形態において、電気活性ポリマーロールトランスデューサを備えるチューブタイプポンプデバイスが用いられえる。EPAMロールトランスデューサは、図4A～4Eおよび4K～4Mについてある程度、詳細に記載される。EPAMロールトランスデューサはまた、2002年5月21日に出願された、「Rolled Electroactive Polymers」と題された同時係属中の米国特許出願第10／154,449号に記載されており、先にこれは援用された。

【0108】

ロールトランスデューサ328に基づくポンプまたは圧縮機は、両端において適切なホース接続を持ち、その全体の軸を通る穴を有する（図3E）。図3Eにおいて示されるように、EPAMロールトランスデューサ328は、その直径が実質的に変化しないまま、電圧の印加によって軸方向に伸長または収縮しえる。よって内部容積は、張力と共に直線的に増加する。1方向バルブ316をチューブのどちらかの端部に取り付けることによって、容積の変化は、チェックバルブ316を横切る流体の動きを与え、流体はロールアクチュエータ326を通して1方向に移動される。このEPAMチューブタイプポンプデバイスは、小さなユニットの簡単で堅固な設計を提供する。

【0109】

図3Fは、ダイアフラム圧力ポンプ365のある実施形態を示す。トランスデューサ367内のダイアフラムの動きは、交互に流体をチャンバに引き込み、それからそれを出口

10

20

30

40

50

チューブを通して1方向バルブ316を介して追い出すのに用いられる。ダイアフラムタイプのEPAMトランスデューサ367は、2000年7月20日に出願された「Electroactive Polymer Devices」と題された同時係属中の米国特許出願第09/619,846号に詳細に記載されており、先にここで援用された。

【0110】

撓みの方向に影響を与えるために、6つのダイアフラムトランスデューサ367がいくつかの異なる手段のうちの1つによって機械的にバイアスされる。例えば、バネで負荷がかけられたプランジャがダイアフラムにバイアスをかけるために用いられる。ある実施形態において、スプリングタイプの設計が低フローレートおよび圧力のためにテストされてきている。フローは、単一レイヤの電気活性ポリマーを用いて1kPa（キロパスカル）においてほぼ40ml/分であった。ポンプは、圧力を2.5kPaより増すためにカスケードにされる。スプリングタイプのバイアスは、低出力の応用例には適しえる。

【0111】

ダイアフラムタイプのトランスデューサをバイアスする他の方法は、発泡材料、圧力（または真空）、および膨張剤（例えば少量のシリコンオイル）のようなバイアス材料397の使用を含む。EPAMフィルムをバイアスするさまざまな手段は、「ELASTOMETRIC DIELECTRIC POLYMER FILM SONIC ACTUATOR」米国特許第6,343,129号、2000年7月20日に出願された「Electroactive Polymer Devices」米国特許出願第09/619,846号、および2001年2月7日に出願された「MONOLITHIC ELECTROACTIVE POLYMERS」米国特許出願第09/779,203号に記載されており、これら全てが全ての目的のためにここで参照によって援用される。

【0112】

例として、図3Fは、EPAMダイアフラムトランスデューサ367を備えるセルフプライミングポンプの断面図を示し、ここでEPAMダイアフラムは、開放孔発泡材（open pore foam）397の挿入を用いてバイアスされる。ポンプ365は、下部チャンバ387、上部チャンバ398、グリッドプレート369、6個のダイアフラムトランスデューサ367、3個のバルブ316、385および396、およびポンプ筐体366に囲まれたスクリーン369を備える。グリッドプレート369は、ダイアフラムを受け入れる開口を含む。スクリーン368は、発泡材を所定の位置に保持するのに用いられる。ある実施形態において、発泡材は下部チャンバ387の底部に伸びて、スクリーンは用いられなくてもよい。

【0113】

トランスデューサ内のEPAMダイアフラムが収縮すると、流体はバルブ316を通して入り口342においてポンプチャンバ398内へ引き込まれる。ダイアフラムは、それから駆動とともに伸長し、これは流体がバルブ385を通して流れるようにする。ダイアフラムの後ろの領域に圧力が蓄えられると、流体は出口バルブ386を通して押し出され、後段へと送られることも可能である（図3Iおよび3Jを参照）。

【0114】

図3Fにおいて示される構成のある優位性は、セルフプライミング（すなわち流体を引き込める）であり、上部入力チャンバから底部出口チャンバへ1方向バルブを通して流体を引くために、バイアス手段は単に十分なバイアス力を供給すればよいようなセルフプライミングであることである。電気活性ポリマーの出力ストローク（収縮）は高い出力圧力または交互に高い吸引入力圧力を供給できるが、バイアス手段は大きなバイアス力を供給する必要はない。

【0115】

図3Gおよび3Hは、EPAMフィルムポンプ400の実施形態を示す。図3Gは、ポンプ400の透視図を示し、図3Hは、入り口342および出口343を通じた断面を示す。ポンプ400は、複数の開口402を持つクランププレート401（例えば52個が図3Gに示される）、1つ以上のレイヤから構成されるEPAMフィルム370、および下部チャンバ371を備える。下部チャンバは、入り口342、出口、フローの方向

を制御するチェックバルブ403および404、およびポンプチャンバ398へ、およびそれからつながる流体導管を含みえる。ポンプチャンバは、下部チャンバ371およびEPAMフィルム370の上部のくぼみによって形成される。ポンプ400はまた、不図示の調整電子回路および電源を含みえる。図3Gおよび3Hに示されるポンプは、従来技術で知られるダイアフラムバイアス手段を使用しえ、もし入り口圧力が出口雰囲気ダイアフラム圧力より高いなら、流体それ自身がダイアフラムバイアスとして用いられえ。

【0116】

空気のような流体は、入り口342を通して下部チャンバ371に入る。流体は、ポンプチャンバ398内でEPAMフィルム370によって作用を受け（例えば熱力学的仕事は流体に行われる）、下部チャンバ内の第2開口を通して押し出され出口343へ向かう。クランププレート401は、アクティブEPAMフィルムの幾何学的形状を決定する。図3Gおよび3Hに示される実施形態において、52個の開口があり、それぞれは0.375インチ（9.53mm）の直径を持ち、結果として総フィルムアクティブ領域は5.74インチ²（3700mm²）になる。流体がチャンバを通ることを可能にするために、フィルムおよび下部チャンバの底部プレートの間には1mmのギャップが存在する。1mmのギャップは、EPAMフィルムが平坦であるときのポンプチャンバの高さである。非圧縮性流体を押し出すのにはより大きなギャップが用いられえ、一方、より小さなギャップは圧縮性流体を押し出すときに「デッドスペース」を最小化し、EPAMがより効率的に圧縮性流体を加圧することを可能にする。

【0117】

ある実施形態において、クランププレート401および下部チャンバ371は、それぞれほぼ0.375インチの高さであり、ポンプ400の総高さは0.75インチである。クランププレートおよび下部チャンバは、長さが4インチおよび幅が4インチである。よってポンプデバイスのフットプリント面積は、16インチ²である。他の実施形態において、総高さは、0.75インチから増加または減少されえ、フットプリント面積は16インチ²から増加または減少されえ。クランププレートおよび下部チャンバは、デバイスの筐体として働き、またはクランププレートおよび下部チャンバは、別個の筐体内に収められえ。

【0118】

ダイアフラムアレイポンプ365（図3F）またはEPAMフィルムポンプ400（図3Fおよび3G）の1つの優位性は、かなり平坦なデバイスについて良好なポンプ効率を得られうることである。ポンプデバイスの平坦さの1つの目安は、その高さをフットプリント領域の積によって除した比である。長方形のポンプデバイスについては、フットプリント面積は、デバイスの長さとの積である。比較目的で、非次元の平坦さの目安は、デバイスの高さによって正規化することによって生成されえ、（高さ）²/（フットプリント面積）に等しい平坦さパラメータを得る。長方形のエンクロージャまたは筐体については、フットプリント面積は、長方形の長さとの積である。立方体形状のエンクロージャまたは筐体については、平坦さのパラメータは、値1を生む。

【0119】

従来のポンプにおいて、モータとしての、およびポンプメカニズムとしての実装要件は、1または1より大きい平坦パラメータを生じえる。本発明において、平坦パラメータは1よりもずっと小さくなりえる。例えば、図3Gおよび3HのEPAMフィルムポンプ400のある実施形態について、デバイスの高さは0.75インチで、フットプリント面積は16インチ²である。よってこの実施形態の平坦さパラメータはほぼ0.035である。この値よりもずっと小さい平坦さパラメータを持つ本発明の熱力学的仕事を行うデバイスも可能であり、例えば0.1未満などが可能である。ノートパソコンのような電子機器のように、スペースが非常に高価なデバイスについては、小さな平坦さパラメータを持つ熱力学的仕事を行うデバイスを作る能力が有利でありえる。

【0120】

本発明のある実施形態において、熱力学的仕事を行うデバイスは、マイクロエレクトロ

メカニカルシステム（MEMS）において用いられる。MEMS デバイスは、シリコンのような基板上に製造される。これらの応用例について、小さい平坦さパラメータを持つ熱力学的仕事を流体に行うデバイスを製造する能力は、有利でありえる。

【0121】

図3I および3J は、多段EPAM 圧縮機またはポンプデバイスの実施形態を示す。ここで記載された全ての実施形態について、多段（マルチステージ）ポンプまたは圧縮機は、それぞれの段の後の圧力を増すためにチェックバルブを段間で持つように組み立てられる。全ての段は同一でありえるが、場合によっては第1段は機械的バイアスが必要となりえる。場合によっては、異なる段は、異なるサイズであり、異なるストロークを有し、また電気活性ポリマーフィルムの異なるレイヤを備えうる。

10

【0122】

図3I において、リニアステージ圧縮機380の平面構成が示される。リニアステージ圧縮機380は、3つのステージ381、382、および383を含み、これらは同じ平面にアラインされる。圧縮機が多段は、1つ以上のバーブ継ぎ手（barb fitting）、チュービング（すなわち流体導管）、およびチェックバルブを介して接続される。

【0123】

空気のような流体がステージ381に入り、それぞれのステージにおいて高い圧力にポンプ動作され、最後にはステージ383から出る。それぞれのステージは、いずれかの側のステージ（すなわち上流および下流）と180度位相がずれて駆動される。このようにして、1段が圧縮されているとき、流体は後続（下流）のステージに流れ込み、これはより低い圧力である。チェックバルブは、ステージ382からステージ381へのように、前の上流ステージへ流体が流れることを防ぐために用いられる。一般に複数のステージが本発明と共に用いられ、本発明は3段に限定されない。

20

【0124】

図3J において、多段ポンプ375のスタック構成が示される。多段ポンプは、3つのステージ376、377および378を含み、一方の上に他方がスタックにされる。ステージ群は、同一であり得る。本発明のポンプで可能なそれぞれのステージについての低い平坦さパラメータのおかげで、従来のポンプでは不可能なスタック構成が可能となりえる。流体は、第1段376から下向きにステージ377およびステージ378に流れ、それからステージ378の出口から出る。多段ポンプでの最良の動作のためには一般に、次のステージのストロークに対してあるステージのストロークのタイミングを調整する。例えば、あるステージの圧縮ストロークを、次のステージの膨張ストロークに一致させる。気体のような圧縮性流体が高い圧力に圧縮されるときは、それぞれのステージのストローク容積は理想的には気体の変化する容積に一致される（例えばもし気体が圧縮されて多段ポンプのその元の容積の半分になるなら、最終段はストローク当たり第1段のおおまかに半分の容積を押し出すだけでよい）。

30

【0125】

上述の実施形態においては、熱力学的仕事を流体に行う電気活性ポリマーデバイスは、多くの優位性を従来のポンプ／圧縮機技術に対して提供し、これにはより静かな運転（ピストンベースのシステムの除去、および小さな高周波数アクチュエータの代わりに使用、人間の可聴範囲外の周波数における運転）、より低いコスト（等価な電気モータシステムよりも安価な材料、簡単な設計およびより少ない部品）、および高い効率が含まれる。

40

【0126】

電気活性ポリマーは規模を非常によく変えられる。すなわち大きな油圧アクチュエータを重機のために設計し、または集積回路のための小さなラジエータを設計しえる。特定の応用例（例えば冷凍または空調）に必要とされる圧力は、ステージ当たりのポリマーフィルムのレイヤの数、および／またはステージの数を増すことによってスケールアップされる。従来のモータ駆動のポンプまたは圧縮機とは異なり、電気活性ポリマーポンプは、可聴範囲の上または下の周波数において駆動される。

3. 電気活性ポリマーデバイス

50

【0127】

3. 1 トランスデューサ

【0128】

図4A～2Eは、本発明のある実施形態による巻かれた電気活性ポリマーデバイス20を示す。巻かれた電気活性ポリマーデバイスは、流体上に熱力学的仕事を施すEPAMデバイスの駆動のために用いられえ、流体上に熱力学的仕事を施すデバイスとともに用いられる、流体導管、または外部または内部流体場の中に浸された他のタイプの構造体の一部として機能しえる。巻かれた電気活性ポリマーデバイスは、EPAMデバイスを動作させる直線および／または回転／ねじれ動きを提供しえる。例えば図2Hのファンの実施形態を参照されたい。図4Aは、デバイス20の側面図を示す。図4Bは、デバイス20を上10部端から見た軸上の図を示す。図4Cは、断面A-Aを通して取られたデバイス20の軸上の図を示す。図4Dは、巻かれる前のデバイス20の要素を示す。デバイス20は、巻かれた電気活性ポリマー22、スプリング24、エンドピース27および28、およびデバイス20を組み立てるさまざまな製造要素を備える。

【0129】

図4Cに示されるように、電気活性ポリマー22は巻かれる。ある実施形態において、巻かれた電気活性ポリマーは、電極あり、または電極なしで丸くそれ自身の上に巻かれた（例えばポスターのように）、または他の物体（例えばスプリング24）の周りに巻かれた電気活性ポリマーを指す。ポリマーは、繰り返し巻かれえ、少なくともポリマーの内側10レイヤの一部において重なるポリマーの外側レイヤの部分を少なくとも備えうる。ある実施形態において、巻かれた電気活性ポリマーは、ある物体または中心の周りに螺旋状に巻かれた電気活性ポリマーを指す。ここで使われるように巻かれたという語は、ポリマーがその巻かれた構成をどのようにして達成するかとは独立している。

【0130】

図4Cおよび4Dによって示されるように、電気活性ポリマー22は、スプリング24の外側の周りに巻かれえ。スプリング24は、ポリマー22の少なくとも一部を引っ張る力を与える。スプリング24の上端24aは、堅いエンドピース27に取り付けられる。同様にスプリング24の上端24bは、堅いエンドピース28に取り付けられる。ポリマー22（図4D）の上部エッジ22aは、エンドピース27の周りに巻かれ、適切な接10着剤を用いてそれに取り付けられる。ポリマー22の下部エッジ22bは、エンドピース28の周りに巻かれ、適切な接着剤を用いてそれに取り付けられる。よってスプリング24の上端24aは、ポリマー22の上部エッジ22aに動作可能に結合され、上端24aの撓みはポリマー22の上部エッジ22aの撓みに対応する。同様にスプリング24の下端24bは、ポリマー22の下部エッジ22bに動作可能に結合され、下端24bの撓みはポリマー22の下部エッジ22bの撓みに対応する。ポリマー22およびスプリング24は、それらのそれぞれの上下部分の間で撓むことが可能である。

【0131】

上述のように、多くの電気活性ポリマーは、予歪みを与えられるときによりよく機能する。例えばある種のポリマーは、予歪みを与えられるとき、より高い絶縁破壊電界強度、電氣的に駆動された歪み、およびエネルギー密度を示す。デバイス20のスプリング2410は、ポリマー22に円周および軸方向の予歪みを起こすような力を与える。

【0132】

スプリング24は、ポリマー22を軸方向に伸ばし、軸方向にポリマー22を引っ張る反対の軸方向（図4A）で外側に向かう力を与える圧縮スプリングである。よってスプリング24は、ポリマー22を軸方向35に引っ張った状態に維持する。ある実施形態において、ポリマー22は、約50から約300パーセントの、方向35の軸方向の予歪みを有する。製造について以下により詳細に記載されるように、デバイス20は、スプリングが圧縮されたままで、予歪みを与えられた電気活性ポリマーフィルムをスプリング24の周りに巻くことによって製造されえる。いったん解放されると、スプリング24は、軸方向の予歪みを達成するためにポリマー22を引っ張り歪みの状態に維持する。

10

20

30

40

50

【0133】

スプリング24はまた、ポリマー22上の円周方向の予歪みを維持する。予歪みは、ポリマーがスプリング24の周りに巻かれる前に、ポリマー22内で方向33（図4D）の長手方向に確立されえる。製造中にこの方向の予歪みを確立する技術は、以下により詳細に記載される。スプリング24について実質的に一定の外周寸法と共に、巻かれた後にポリマーを固定または固着させることは、スプリング24についての外周方向の予歪みを維持する。ある実施形態においてポリマー22は、約100から約500パーセントの円周方向予歪みを有する。多くの場合、スプリングは、ポリマー22上の異方性予歪みを発生する力を与える。

【0134】

エンドピース27および28は、巻かれた電気活性ポリマー22およびスプリング24の反対端に取り付けられる。図4Eは、本発明のある実施形態によるエンドピース27の側面図を示す。エンドピース27は、外側フランジ27a、インタフェース部27b、および内側ホール27cを備える円形構造体である。インタフェース部27bは、好ましくはスプリング24と同じ外径を有する。インタフェース部27bのエッジはまた、ポリマーのダメージを防ぐために丸くされえる。内側ホール27cは、円形であり、エンドピース27の中心を通して上端から外側フランジ27aを含む下部外側端まで貫通する。特定の実施形態において、エンドピース27は、アルミニウム、マグネシウム、または他の機械用金属を備える。内側ホール27cは、エンドピース27内で機械加工または同様に製造されたホールによって規定される。特定の実施形態において、エンドピース27は、3

10

20

【0135】

ある実施形態において、ポリマー22は、外側フランジ27aまではずっと伸びず、ギャップ29がポリマー22の外側部分エッジおよび外側フランジ27aの内側表面の間に残される。以下にさらに詳細に記載されるように、接着剤または糊が巻かれた電気活性ポリマーデバイスに加えられてその巻かれた構造を維持しえる。ギャップ29は、巻かれたデバイスの外径への積み重ねの代わりに、エンドピース27上に接着剤または糊のための専用のスペースを与え、ロール中の全てのポリマーレイヤがエンドピース27に固定されるようにする。特定の実施形態において、ギャップ29は約0mmから約5mmの間である。

30

【0136】

エンドピース27および28の間の電気活性ポリマー22およびスプリング24の部分は、その機能的な目的についてアクティブであると考えられえる。よってエンドピース27および28は、デバイス20のアクティブ領域32（図4A）を規定する。エンドピース27および28は、スプリング24との固定、およびポリマー22との固定のための共通構造を与える。加えて、それぞれのエンドピース27および28は、デバイス20に対する外部の機械的および取り外し可能な結合を許す。例えばデバイス20は、エンドピース27がロボットのアップストリームリンクに取り付けられ、エンドピース28がロボットのダウンストリームリンクに取り付けられる、ロボット応用例において採用されえる。電気活性ポリマー22の駆動は、それから、2つのリンク間の自由度（例えばリンク1上のピンジョイントの周りのリンク2の回転）によって決定されるように、アップストリームリンクに対してダウンストリームリンクを動かす。

40

【0137】

特定の実施形態において、内側ホール27cは、ネジまたはネジが切られたボルトのようなネジが切られた部材とのネジによるインタフェースが可能な内部ネジ山を備える。内部ネジ山は、デバイス20の一端への取り外し可能な機械的固定を可能にする。例えばネジは、ロボット要素に対する外部取り付けのために、エンドピース27内の内側ネジ山にネジが切られえる。デバイス20の内部での取り外し可能な機械的固定のために、エンドピース27および28にそれぞれネジが切られるナットまたはボルトは、スプリング24の軸のコアを通して貫通し、それにより2つのエンドピース27および28を互いに固定

50

する。これによりデバイス 20 は、巻かれる間に有用な完全に圧縮された状態のような、任意の撓み状態に保持されることができる。これはまた、ポリマー 22 が格納中に歪まされないようデバイス 20 を格納するあいだも有用である。

【0138】

ある実施形態において、堅い部材または直線ガイド 30 がスプリング 24 のスプリングコア内に配置される。スプリング 24 内のポリマー 22 は、実質的にエンドピース 27 および 28 間でコンプライアンスを持つので、デバイス 20 は、方向 35 に沿った軸方向撓み、およびその直線軸（スプリング 24 の中心を通る軸）から離れるポリマー 22 およびスプリング 24 の屈曲の両方を可能にする。ある実施形態においては、軸方向撓みだけが望ましい。リニアガイド 30 は、デバイス 20 がエンドピース 27 および 28 間で直線軸について屈曲することを防ぐ。好ましくはリニアガイド 30 は、デバイス 20 の軸方向の撓みに干渉しない。例えばリニアガイド 30 は、好ましくはそれ自身およびスプリング 24 の任意の部分の間に摩擦抵抗を起こさない。リニアガイド 30 または軸方向 35 以外の動きを防ぐ他の任意の拘束物があると、デバイス 20 は、厳密に方向 35 の出力を持つリニアアクチュエータまたはジェネレータとして機能しえる。リニアガイド 30 は、木、プラスチック、金属などのような任意の適切に堅い材料で構成されえる。

10

【0139】

ポリマー 22 は、繰り返しスプリング 22 の周りに巻かれる。単一の電気活性ポリマーレイヤ構成については、本発明の巻かれた電気活性ポリマーは、約 2 および約 200 レイヤの間に構成されえる。この場合、レイヤとは、巻かれたポリマーの半径方向の断面において重なるポリマーフィルムまたはシートの数を言う。場合によっては、巻かれたポリマーは、約 5 および約 100 レイヤの間に構成される。特定の実施形態においては、巻かれた電気活性ポリマーは約 15 および約 50 レイヤの間に構成される。

20

【0140】

他の実施形態において、巻かれた電気活性ポリマーは、多層レイヤ構造を採用する。多層レイヤ構造は、ロール状にされたり巻かれたりされる前に、互いの上に配置された複数のポリマーレイヤを備える。例えば、その上にパターン付けされた電極なしの第 2 電気活性ポリマーレイヤは、両面にパターン付きの電極を有する電気活性ポリマー上に配置されえる。2 つのポリマー間に直接に接する電極は、直接接触するポリマー表面の両面に対して機能する。巻かれた後、電極付きのポリマーの下側の電極は、電極なしのポリマーの上側に接触する。このようにして、その上にパターン付けされた電極がない第 2 電気活性ポリマーは、第 1 電気活性ポリマー上の 2 つの電極を使う。

30

【0141】

他の多層構造も可能である。例えば多層構造は、奇数番目のポリマーは電極が付けられ、偶数番目のポリマーは電極が付けられない任意の数のポリマーレイヤを備えうる。電極なしポリマーの上部の上側表面は、巻かれた後、積層物の下部の電極に頼る。2、4、6、8などを有する多層構造がこの技術で可能である。場合によっては、多層構造中で用いられるレイヤの数は、ロールの寸法およびポリマーレイヤの厚さによって制限されえる。ロールの半径が減ると、許容できるレイヤの数も典型的には減る。用いられるレイヤの数に関係なく、巻かれたトランスデューサは、与えられた極性の電極が反対の極性の電極に接触しないように構成される。ある実施形態において、多層レイヤは、それぞれ個別に電極が付けられ、1つおきのポリマーレイヤは巻かれる前に反対にされ、巻かれた後には互いに接触する電極が同じ電圧または極性になるようにされる。

40

【0142】

多層ポリマー積層体はまた、1つより多いタイプのポリマーを備えうる。例えば、1つ以上の第 2 ポリマーが用いられて、巻かれた電気活性ポリマーレイヤの弾性または剛性を変更しえる。ポリマーは、駆動中に充電／放電するのにアクティブでもアクティブでなくてもよい。非アクティブポリマーレイヤが採用されるとき、ポリマーレイヤの数は奇数である。第 2 ポリマーはまた、巻かれた製品のパフォーマンスを変化させる他のタイプの電気活性ポリマーでありえる。

50

【0143】

ある実施形態において、巻かれた電気活性ポリマーの最外層は、その上に配置された電極を備えていない。これは機械的保護のレイヤを提供するため、または次に内側のレイヤ上の電極を電氣的に絶縁するためになされえる。例えば、内側および外側レイヤおよび表面コーティングは、前述のように流体適合性を提供するように選択されえる。上述の多層レイヤ特性は、前述のEPAMダイアフラムのような巻かれていない電気活性ポリマーにも適用されえる。

【0144】

デバイス20は、コンパクトな電気活性ポリマーデバイス構造を提供し、従来の電気活性ポリマーデバイスに対して全体的な電気活性ポリマーデバイスのパフォーマンスを改善する。例えばデバイス20の多層構造は、個々のポリマーレイヤのそれぞれに比較してデバイスの全体的なバネ定数を調整する。加えて、スプリング24を介して達成されたデバイスの増された剛性は、デバイス20の剛性を増し、望まれる場合には駆動においてより速い応答を可能にする。

10

【0145】

特定の実施形態において、スプリング24は、カリフォルニア州、ロサンゼルスCentury Springによって提供されるカタログ番号11422のような圧縮バネである。このスプリングは、0.911lb/インチのスプリング力、および4.38インチの自由長、1.17インチの密着高さ、0.360インチの外径、0.3インチの内径によって特徴付けられる。この場合、巻かれた電気活性ポリマーデバイス20は、約5から約7cmの高さ36、約0.8から約1.2cmの直径37、および約4から約5cmのエンドピース間のアクティブ領域を有する。このポリマーは、約300から約500パーセントの円周方向の予歪み、および約150から約250パーセントの軸方向の予歪み（スプリング24による力の寄与も含む）によって特徴付けられる。

20

【0146】

デバイス20は、巻かれたポリマーの内部に配置された単一のスプリング24を持つように示されるが、ポリマーの外部にある他のスプリングのような追加の構造も歪みおよび予歪み力を提供するのに用いられえる。これらの外部構造は、エンドピース27および28を例えば用いてデバイス20に取り付けられえる。

【0147】

図4Fは、本発明のある実施形態による構造変化に基づいて可変剛性を提供する曲げトランスデューサ150を示す。この場合、トランスデューサ150は、ある方向における剛性を他の方向におけるポリマー撓みを用いて変化させ制御する。ある実施形態において、このデバイスは、図2Kおよび2Lを参照して記載された流体フロー内のベーンを用いえる。トランスデューサ150は、一端において堅い支持体152によって固定されたポリマー151を含む。ポリマー151に取り付けられているのは、例えば接着レイヤを用いるポリイミドまたはマイラのような可撓性のある薄い材料153である。可撓性のある薄い材料153は、ポリマー151よりも大きい弾性率を有する。トランスデューサ150の上部および下部側156および157の弾性率の差は、駆動されるとトランスデューサを曲げる。電極154および155は、ポリマー151の反対側に取り付けられ、ポリマー151およびトランスデューサ150の撓みを制御するのに用いられる制御電子回路間の電氣的通信を提供する。トランスデューサ150は、示されるように平面ではなく、むしろ軸160についてわずかに曲面をなす。方向160は、堅い支持物152からポリマー151を通して軸上に伸びる線についての回転または屈曲として定義される。この曲率は、矢印161によって示される方向の任意のものに沿って先端に与えられた力に応答して、トランスデューサ150を剛性あるものにする。力の代わりに、またはそれに加えて、トルクがトランスデューサに加えられてもよい。これらトルクは、方向161aおよび161bの矢印によって示される軸について与えられる。

30

40

【0148】

図4Gは、電圧を電極154および155に印加することによって発生された、方向1

50

61bにおける撓みを持つトランスデューサ150を示す。この電圧は、曲げ力が非駆動状態の曲率によって示される抵抗を克服することを可能にするために印加される。実効的に、トランスデューサ152は、初期曲率によって生じたキंकを伴って曲がる。この状態において、方向161によって示される力またはトルクに応答した剛性はずっと少ない。

【0149】

機械的インタフェースがトランスデューサ150の遠端部159に取り付けられえ。あるいは機械的取り付けは、機械的装置内にトランスデューサ150を実現できるようにするため可撓性の薄い材料153に対してなされえ。例えばトランスデューサ150は、格納されたり、展開されたりされえように構造を折り畳むことが有用である、軽量の宇宙用構造体のような応用例において用いられるのに適する。この例では、個別トランスデューサ（構造中でリブを形成する）の剛性条件は、構造が展開されるときに起こる。格納を許すために、トランスデューサは駆動されリブは折り曲げされえ。他の応用例において、トランスデューサは空気入りタイヤの側壁内のリブを形成しえ。この応用例において、リブの剛性の変化は、タイヤの剛性に影響し、よってそのタイヤを使う車の結果として生じるハンドリングに影響しえ。同様にデバイスは、靴の中に実現されえ、リブの剛性の変化は、靴の剛性に影響しえ。

10

【0150】

トランスデューサ150は、電気活性ポリマーの駆動が、デバイスの剛性に影響を与える構成または形状における低エネルギー変化を引き起こす一例を提供する。この技術を用いて、トランスデューサ150を用いて、直接的な機械的または電氣的エネルギー制御よりも大きなレベルで剛性を変化させることが実際に可能である。他の実施形態において、電気活性ポリマートランスデューサの撓みは、トランスデューサがその中に組み込まれる装置の剛性を変化させることに直接に寄与する。

20

【0151】

図4Hは、本発明の他の実施形態による、可変剛性を提供するボウデバイス（bow device）200を示す。ボウデバイス200は、ポリマー206に取り付けられた可撓性フレーム202を備える平面的機構である。フレーム202は、ジョイント205においてピボットで接続された6つの堅い部材204を含む。部材204およびジョイント205は、平面方向208におけるポリマーの撓みを、直角な平面方向210における機械出力に結合する。ボウデバイス200は、図4Hに示される休止位置にある。ポリマー206の反対（上部および底部）表面に取り付けられているのは、電極207（ポリマー206の底部側上の底部電極は不図示）であり、ポリマー206と電氣的通信を提供する。図4Iは、駆動後のボウデバイス200を示す。

30

【0152】

図4Hの休止位置において、堅い部材204は、その材料の剛性によって、方向208の力209に大きな剛性を与える。しかし図4Iに示されるボウデバイス200の位置については、方向208の剛性は、ポリマー202のコンプライアンスおよびジョイント205によって与えられる任意の回転弾性抵抗に基づく。よって電極207と電氣的に通信する制御電子回路は、図4Hに示されるポリマー206の撓み、およびそれに対応する高い剛性を提供するような電氣的状態、および図4Iに示されるポリマー206の撓み、およびそれに対応する低い剛性を提供するような電氣的状態を与えるために用いられえ。これにおいて、デバイス200を用いて大きな剛性変化を与えるためには、単純なオン／オフ制御が用いられえ。

40

【0153】

デバイス200中の堅い部材の構成を変えることによって達成される剛性変化に加えて、図4Iの位置についての剛性は、「Variable Stiffness Electroactive Polymers」と題されたKornbluhらによる2002年1月16日に出願された同時係属中の米国特許出願第10／053,511号に詳細に記載されたオープンまたはクローズループ剛性技術のうちの1つを用いてさらに変化されえ、上記出願は、その全体が全ての目的のためにここ

50

で参照によって援用される。

【0154】

3. 2 複数のアクティブ領域

【0155】

場合によっては、電極は、ポリマーの全領域ではなく、電気活性ポリマーの限定された部分をカバーする。これはポリマーのエッジ周辺の電気絶縁破壊を防ぐため、ポリマー部分が巻かれた構成（例えば外側ポリマーバレイヤ）を促進することを可能にするため、多機能性を提供するため、またはポリマーの1つ以上の部分についてカスタム化された撓みを達成するためになされえる。ここで使われる語として、アクティブ領域は、電気活性ポリマーの部分、およびその部分に、またはそこから電氣的エネルギーを提供したり受け取ったりする1つ以上の電極を備えるトランスデューサの部分として定義される。アクティブ領域は、後述の機能の任意のものについて用いられえ。駆動のためには、アクティブ領域は、その部分の撓みを可能にする十分な静電力を有するポリマーの部分を含む。発電または検出のためには、アクティブ領域は、静電エネルギーの変化を可能にするために十分な撓みを有するポリマーの部分を含む。本発明のポリマーは複数のアクティブ領域を有しえる。

10

【0156】

本発明によれば、「モノリシック」という語は、ここでは電気活性ポリマーおよび複数のアクティブ領域を単一のポリマー上に備えるトランスデューサを指すのに用いられる。図4Jは、本発明のある実施形態によって単一のポリマー151上に複数のアクティブ領域を備えるモノリシクトランスデューサ150を示す。モノリシクトランスデューサ150は、電気エネルギーおよび機械エネルギーの間で変換をする。モノリシクトランスデューサ150は、2つのアクティブ領域152aおよび152bを有する電気活性ポリマー151を備える。ポリマー151は、例えばポリマーのエッジに取り付けられた堅いフレーム（不図示）を用いて所定の場所に保持されえる。アクティブ領域152aおよび152bに結合されるのは、アクティブ領域152aおよび152b間の電氣的通信を可能にし、通信電子回路155との電氣的通信を可能にするワイヤ153である。

20

【0157】

アクティブ領域152aは、その上部および下部表面151cおよび151d上でそれぞれポリマー151に取り付けられた上部および下部電極154aおよび154bを有する。電極154aおよび154bは、ポリマー151の部分151aにわたって電気エネルギーを与えたり、受け取ったりする。部分151aは、電極154aおよび154bによって与えられた電界の変化によって撓みえる。駆動については、部分151aは、電極154aおよび154bの間のポリマー151、および電極154aおよび154bを用いた電圧の印加による撓みを可能にするのに十分な静電力を有するポリマー151の任意の他の部分を備える。アクティブ領域152aが、電気エネルギーから機械エネルギーへ変換する発生器として用いられるとき、部分151aの撓みは、部分151a中の電界に変化を発生し、これは電極154aおよび154bによって電位差として受け取られる。

30

【0158】

アクティブ領域152bは、その上部および下部表面151cおよび151d上でそれぞれポリマー151に取り付けられた上部および下部電極156aおよび156bを有する。電極156aおよび156bは、ポリマー151の部分151bにわたって電気エネルギーを与えたり、受け取ったりする。部分151bは、電極156aおよび156bによって与えられた電界の変化によって撓みえる。駆動については、部分151bは、電極156aおよび156bの間のポリマー151、および電極156aおよび156bを用いた電圧の印加による撓みを可能にするのに十分な静電力を有するポリマー151の任意の他の部分を備える。アクティブ領域152bが、電気エネルギーから機械エネルギーへ変換する発生器として用いられるとき、部分151bの撓みは、部分151b中の電界に変化を発生し、これは電極156aおよび156bによって電位差として受け取られる。

40

【0159】

50

電気活性ポリマーのアクティブ領域は、従来の電気活性ポリマー電極製造技術を用いて容易にパターン付けされ、構成されえる。複数アクティブ領域ポリマーおよびトランスデューサは、09/779, 203においてさらに記載され、これは全ての目的のためにここで参照によって援用される。複数のアクティブ領域をパターン付けし、独立に制御できる機能により、本発明の巻かれたトランスデューサは、既存の応用例において新しいやりかたで採用されるのと同時に、多くの新しい応用例において採用されえる。

【0160】

図4Kは、本発明のある実施形態による、巻かれる前の、単一のポリマー172上に複数のアクティブ領域を備えるモノリシクトランスデューサ170を示す。本発明において、モノリシクトランスデューサ170は、巻かれたまたは巻かれない構成で利用されえる。トランスデューサ170は、対向するポリマーサイド177上に個別電極174を備える。ポリマー172の反対側（不図示）は、電極174の位置に対応する個別電極を含みえるか、または領域内にまたがり電極174の複数のもの、または全てに対して機能し、電気通信を簡略化する共通電極を含みえる。アクティブ領域176はそれから、アクティブ領域の動作モードによって決定される、それぞれの個別電極174、およびポリマー172の反対側の電極間のポリマー172の部分を含む。例えば駆動のときは、電極174aのアクティブ領域176aは、上述のようにその部分の撓みを可能にするのに十分な静電力を有するポリマー172の部分を含む。

【0161】

トランスデューサ170上のアクティブ領域176は、1つ以上の機能のために構成されえる。ある実施形態において、全てのアクティブ領域176は、駆動のために構成される。ロボットの応用例に用いられるのに適する他の実施形態においては、1つ以上のアクティブ領域176は、アクティブ領域176が駆動のために構成されながらも、検出するよう構成される。このようにして、トランスデューサ170を用いた巻かれた電気活性ポリマーデバイスは、駆動および検出の両方が可能である。検出のために指定された任意のアクティブ領域は、後述の検出電子回路への専用の配線を含みえる。

【0162】

示されるように、電極174a～dは、それぞれ、専用の外部電気通信を行い、それぞれのアクティブ領域176a～dのための個別制御を許す、それに取り付けられたワイヤ175a～dを含む。電極174e～iは、共通電極177およびアクティブ領域176e～iと共通電氣的通信を行うワイヤ179との全ての電氣的通信である。共通電極177は、同様に動作するよう採用される巻かれた電気活性ポリマーの複数のアクティブ領域との電氣的通信を簡略化する。ある実施形態において、共通電極177は、巻かれる前にポリマー172上に配置されたアルミニウム箔を備える。ある実施形態において、共通電極177は、例えばカーボングリースのような電極174a～iのために用いられるのと同様の材料のパターン付き電極である。

【0163】

例えば、アクティブ領域のセットは、駆動、発電、検出、剛性変化および／または制動、またはそれらの組み合わせの1つ以上のために採用されえる。適切な電気制御はまた、単一のアクティブ領域が1つ以上の機能のために用いられることを可能にする。例えば、アクティブ領域174aは、流体導管の駆動および可変剛性制御のために用いられえる。同じアクティブ領域はまた、流体導管の動きに基づいて電気エネルギーを作る発電のために用いられえる。これら機能のそれぞれのために適切な電子回路は、後でさらに詳細に記載される。アクティブ領域174bはまた、駆動、発電、検出、剛性変化、またはそれらの組み合わせのために柔軟に用いられえる。1つのアクティブ領域によって発生されたエネルギーは、応用例に望ましいなら、他のアクティブ領域に提供されえる。よって本発明の巻かれたポリマーおよびトランスデューサは、電気から機械エネルギーに変換するアクチュエータ、機械から電気エネルギーに変換する発電機、パラメータを検出するセンサ、または剛性および／または制動、またはそれらの組み合わせを制御するのに用いられる可変剛性および／または制動デバイスとして用いられるアクティブ領域を含みえる。

【0164】

ある実施形態において、巻かれた電気活性ポリマーデバイスからの力および／または撓み出力の段階的な電気制御を提供するために、駆動のために採用される複数のアクティブ領域はグループで配線される。例えば、巻かれた電気活性ポリマートランスデューサは、50のアクティブ領域を持ちえ、ここで20のアクティブ領域は1つの共通電極に結合され、10のアクティブ領域は第2共通電極に結合され、さらに10のアクティブ領域は第3共通電極に結合され、5つのアクティブ領域は第4共通電極に結合され、残りの5つは個別に配線されえる。それぞれの共通電極についての適切なコンピュータ管理およびオン・オフ制御がそれから、バイナリのオン・オフスイッチングを用いて巻かれたトランスデューサのための段階的な力および撓み制御を可能にする。このシステムの生物学的な類似は、多くの哺乳類の筋肉制御システムに見られる運動単位である。明らかに、適切な機械的出力または段階的制御システムを提供するためにアクティブ領域および共通電極の任意の個数がこのようにして実現されえる。

【0165】

3. 3 複数自由度デバイス

【0166】

他の実施形態において、電気活性ポリマー上に複数のアクティブ領域が配置され、そのようなアクティブ領域のサブセットは巻かれた後、半径方向にアラインする。例えば、複数のアクティブ領域は、巻かれた後に、ロール中で90度毎に配置される。これらの半径方向にアラインされた電極は、それから、巻かれた電気活性ポリマーデバイスのための運動の複数の自由度を許すために統一して駆動されえる。同様に運動の複数の自由度は、図4Fおよび4Gについて記載されたもののような、巻かれていない電気活性ポリマーデバイスについても獲得されえる。よって巻かれたポリマーデバイスは、本発明のトランスデューサ構成で獲得されえる複数自由度の一実施形態である。

【0167】

図4Lは、本発明のある実施形態による2次元出力の可能な巻かれたトランスデューサ180を示す。トランスデューサ180は、巻かれて10レイヤを提供する電気活性ポリマー182を備える。それぞれのレイヤは、4つの半径方向にアラインされたアクティブ領域を備える。それぞれのアクティブ領域の中心は、その隣接するものに対して90度ずつの増分で配置される。図4Lは、ポリマー182の最外層、および半径方向にアラインされたアクティブ領域184、186、および188を示し、これらは互いに対してそれらの中心が90度の増分を示すように配置される。ポリマー182の裏側上の4つ目の半径方向にアラインされたアクティブ領域（不図示）は、半径方向にアラインされたアクティブ領域186からほぼ180度離れて位置する中心を有する。

【0168】

半径方向にアラインされたアクティブ領域184は、同じ半径方向アライメントを有する内側ポリマーレイヤ上のアクティブ領域と共通する電氣的な通信を含みえる。同様に、他の3つの半径方向にアラインされた外側アクティブ領域182、186、および図示されない背面のアクティブ領域も、それらの対応する内側レイヤと共通の電氣的通信を含みえる。ある実施形態において、トランスデューサ180は、4つの半径方向にアラインされたアクティブ領域のセットのうちのそれぞれのための共通駆動を提供する4つのリード線を備える。

【0169】

図4Mは、駆動された、半径方向にアラインされたアクティブ領域188、およびその対応する半径方向にアラインされた内側レイヤアクティブ領域を持つトランスデューサ180を示す。アクティブ領域188、および対応する内側レイヤアクティブ領域の駆動は、ポリマー182の反対側のトランスデューサ188の軸方向の伸長を引き起こす。結果は、アクティブ領域188の中心点からほぼ180度の、トランスデューサ180の水平屈曲になる。この効果は、トランスデューサ180の上部189の撓みによって計測されえ、これは図4Lに示される休止位置から図4Mに示されるその位置までの半径方向の円

弧を描く。アクティブ領域 188、および対応する内側レイヤアクティブ領域に与えられる電気エネルギーの量を可変することは、この円弧に沿った上部 189 の撓みを制御する。よってトランスデューサ 180 の上部 189 は、図 4 L に示される撓み、またはそれより大きい撓み、あるいは図 4 L に示される位置から最小限に離れた撓みを持ちえる。同様に他の方向に曲がることは、他の半径方向にアラインされたアクティブ領域のセットのうちの 1 つを駆動することによって達成されえる。

【0170】

半径方向にアラインされたアクティブ領域のセットの駆動を組み合わせることは、上部 189 の撓みについての 2 次元空間を作る。例えば半径方向にアラインされたアクティブ領域のセット 186 および 184 は、図 4 L に示される座標系に対応する 45 度の角度で上部が撓みを作るために同時に駆動されえる。半径方向にアラインされたアクティブ領域のセット 186 に与えられる電気エネルギーの量を減らし、半径方向にアラインされたアクティブ領域のセット 184 に与えられる電気エネルギーの量を増すことは、上部 189 をゼロ度のマークにより近く移動させる。適切な電気制御はそれから、上部 189 が 0 から 360 度の任意の角度のパスを描くこと、またはこの 2 次元空間内の可変パスを追従することを可能にする。

【0171】

トランスデューサ 180 はまた、3 次元撓みも可能である。トランスデューサ 180 の 4 つの側面上のアクティブ領域の同時駆動は、上部 189 を上方に向かって移動させる。言い換えれば、トランスデューサ 180 はまた、トランスデューサ 180 の全ての側面上のアクティブ領域の同時駆動に基づいて軸方向の撓みも可能なリニアアクチュエータである。この直線駆動を、半径方向にアラインされたアクティブ領域の差動駆動およびすぐ前で述べたそれらの結果として生じる 2 次元撓みと組み合わせることは、トランスデューサ 180 の上部の 3 次元撓み空間を生む。よって適切な電気制御は、上部 189 が、この直線軸に沿った 2 次元パスを描くのと共に、上下の両方に移動することを可能にする。

【0172】

トランスデューサ 180 は、簡単のために 90 度の増分で配置された 4 つの半径方向にアラインされたアクティブ領域のセットとしてしか示されないが、2 次元および 3 次元運動が可能な本発明のトランスデューサは、より複雑な代替設計を備えうることが理解されよう。例えば、45 度の増分で配置された 8 つの半径方向にアラインされたアクティブ領域のセットである。あるいは 120 度の増分で配置された 3 つの半径方向にアラインされたアクティブ領域のセットは 2D および 3D 運動に適切でありえる。

【0173】

加えて、トランスデューサ 180 は、軸方向アクティブ領域の 1 つのセットしか示されないが、図 4 L の構造はモジュラーである。言い換えれば、90 度の増分で配置された 4 つの半径方向にアラインされたアクティブ領域のセットは、軸方向において複数回現れてもよい。例えば、2 次元および 3 次元運動を可能にする半径方向にアラインされたアクティブ領域のセットは、流体フローに加えられる波形パターンを与えるために、10 回繰り返されえる。

【0174】

4. 検出

【0175】

本発明の電気活性ポリマーは、センサとしても構成されえる。一般に本発明の電気活性ポリマーセンサは、「パラメータ」および／またはパラメータの変化を検出しえる。このパラメータは、温度、密度、歪み (strain)、変形、速度、位置、接触、加速度、振動、体積、圧力、質量、不透明度、濃度、化学状態、伝導度、磁化、誘電率、大きさなど、大きくは物体の物理的特性である。場合によっては、検出されるパラメータは物理的「イベント」に関連付けられる。検出される物理的イベントは、物理または化学特性の特定の値または状態の達成でありえる。生物学的システムにおいて、物理特性は、人体の循環系における血糖値または薬剤濃度のようなシステムの生物学的パラメータでありえる。

10

20

30

40

50

【0176】

電気活性ポリマーセンサは、検出されるパラメータの変化に応答して電気活性ポリマーの一部が撓むよう構成される。ポリマーの電気エネルギー状態および撓み状態は関連する。電気エネルギーの変化、または撓みから生じるアクティブ領域の電気インピーダンスの変化は、それから、アクティブ領域電極と電氣的に通信する検出電子回路によって検出される。この変化は、ポリマーのキャパシタンス変化、ポリマーの抵抗変化、および／または電極の抵抗変化、またはこれらの組み合わせを構成しえる。電極と電氣的に通信する電子回路は、電氣的特性の変化を検出する。もし例えばトランスデューサのキャパシタンスまたは抵抗の変化が計測されるなら、電気エネルギーをトランスデューサに含まれる電極に印加し、電氣的パラメータの変化を観測することになる。

10

【0177】

ある実施形態において、なんらかの方法で1つ以上の結合メカニズムを介して撓みがアクティブ領域センサに入力される。ある実施形態と、センサによって計測される変化する特性またはパラメータは、電気活性ポリマーの変化する特性、例えばポリマー中の変位またはサイズ変化に対応し、結合メカニズムが用いられない。電極と電氣的通信をする検出電子回路は、アクティブ領域によって出力される変化を検出する。場合によっては、センサの検出電子回路と電気通信する論理デバイスが、その電氣的変化を定量化することによって、検出される変化するパラメータのデジタルまたは他の計測値を与える。例えば、論理デバイスは、検出電子回路によって作られた情報を処理するシングルチップコンピュータまたはマイクロプロセッサでありえる。電気活性ポリマーセンサは10/007, 7

20

【0178】

アクティブ領域は、そのアクティブ領域の駆動と同時に検出が実行されるように構成されえる。モノリシクトランスデューサについて、1つのアクティブ領域は駆動を担当し、他の領域は検出を担当しえる。あるいは、ポリマーの同じアクティブ領域は、駆動および検出を担当する。この場合、低い振幅の高い周波数のAC（検出）信号が、駆動（アクチュエーション）信号に重畳されえる。例えば、1000Hzの検出信号は、10Hzの駆動信号に重畳されえる。駆動信号は、応用例、またはどのくらい速くアクチュエータが動くかに依存するが、0.1Hz未満から約1メガHzまでの範囲の駆動信号が多くの実用例に適する。ある実施形態において、検出信号は、検出される動きより少なくとも約1

30

【0179】

本発明のアクティブ領域はまた、可変剛性および制動機能を提供するために構成されえる。ある実施形態において、開ループ技術が用いられて、電気活性ポリマトランスデューサを採用するデバイスの剛性および／または制動を制御し、それによってセンサフィードバックなしで所望の剛性および／または制動パフォーマンスを達成する簡単な設計が提供できる。例えば、トランスデューサの電極と電氣的に通信する制御回路は、実質的に一定の電荷を電極に供給しえる。あるいは、制御回路は、実質的に一定の電圧を電極に供給しえる。電気活性ポリマトランスデューサを採用するシステムは、剛性および／または制動制御を提供するいくつかの技術を提供する。剛性／制動制御を提供する例示的回路は、以下に示される。

40

【0180】

詳細は記載されないが、本発明の全ての図面および説明中のアクティブ領域およびトランスデューサは、電気エネルギーおよび機械エネルギーの間で双方向に変換しえる（適切な電子回路と共に）ことに注意することが重要である。よって巻かれたポリマー、アクテ

50

ィブ領域、ポリマー構成、トランスデューサ、およびここで記載されたデバイスの任意のものは、機械エネルギーを電気エネルギーに変換（発電、可変剛性または制動、または検出）する、または電気エネルギーを機械エネルギーに変換（駆動、可変剛性または制動、または検出）するトランスデューサでありえる。典型的には、本発明の発電機またはセンサアクティブ領域は、ポリマーの一部の撓みに応答する電界の変化を生じるようなやりかたで構成されたポリマーを備える。電界の変化は、電界の方向におけるポリマー寸法の変化と共に、電圧の変化を作り、よって電気エネルギーの変化を生む。

【0181】

しばしばトランスデューサは、他の構造および／または機能要素を備えるデバイス内で採用される。例えば、外部機械エネルギーがなんらかの方法で1つ以上の機械的伝達結合メカニズムを介してトランスデューサに入力されえる。例えば、伝達メカニズムは、フローによって発生された機械的エネルギーを受け取り、そのフローによって発生された機械的エネルギーの一部をポリマーの一部に伝達し、そこでフローによって発生された機械的エネルギーはトランスデューサの撓みを生じるように設計または構成されえる。フローによって発生された機械的エネルギーは、慣性力または直接的力を作りえ、そこでは慣性力の一部または直接的力の一部は伝達メカニズムによって受け取られる。

【0182】

5. 調整電子回路

【0183】

本発明のデバイスはまた、上述の電気活性ポリマー機能のうちの1つについてのアクティブ領域の電極から電気エネルギーを供給または受け取りを行う調整電子回路に頼りえる。1つ以上のアクティブ領域と電氣的通信をする調整電子回路は、剛性制御、エネルギー消費、電気エネルギー発生、ポリマー駆動、ポリマー撓み検出、制御論理などのような機能を含みえる。

【0184】

駆動について、電子ドライバは、電極に接続されえる。アクティブ領域の電極に供給される電圧は、応用例の明細に依存する。ある実施形態において、本発明のアクティブ領域は、印加される電圧をDCバイアス電圧の周辺で変調することによって電氣的に駆動される。DCバイアス電圧の周辺での変調は、印加された電圧に対するトランスデューサの改善された感度および直線性を可能にする。例えば、オーディオの応用例において用いられるトランスデューサは、約750から2000ボルトDCに範囲するバイアス電圧の上に乗った200から100ボルトピーク・ツー・ピークの信号によって駆動されえる。

【0185】

電気活性ポリマー、またはその一部のための適切な駆動電圧は、ポリマーフィルムの厚さのようなポリマーの寸法と共に、誘電率のような電気活性ポリマーの材料的特性に基づいて変わりえる。例えば、図2Aにおけるポリマー12を駆動するのに用いられる駆動電界は、約0V/mから約440MV/mの大きさに範囲する。このレンジの駆動電界は、約0Paから約10MPaの範囲の圧力を作りえる。トランスデューサがより大きな力を作るためには、ポリマーレイヤの厚さが増されなければならない。特定のポリマーについての駆動電圧は、誘電率を増し、ポリマー厚さを減らし、かつ弾性率を減らすことによって例えば低減されえる。

【0186】

図4Nは、本発明のある実施形態による開ループ可変剛性／制動システムの電気ブロック図を示す。システム130は、電気活性ポリマー／トランスデューサ132、電圧源134、可変剛性／制動回路136および開ループ制御138を備える制御電子回路、およびバッファキャパシタ140を備える。

【0187】

電圧源134は、システム130内で用いられる電圧を供給する。この場合、電圧源134は、トランスデューサ132のための最小電圧を設定する。開ループ制御138と共にこの最小電圧を調整することは、トランスデューサ132によって提供される剛性を調

10

20

30

40

50

整する。電圧源 134 はまたシステム 130 に電荷を供給する。電圧源 134 は、約 1 ～ 1.5 ボルトの範囲の電圧を供給する低電圧バッテリー、およびバッテリーの電圧を昇圧するステップアップ回路のような商業的に入手可能な電圧源を含みえる。この場合、トランスデューサ 132 の電極と電氣的に通信するステップダウン回路によって実行される電圧ステップダウンは、トランスデューサ 132 からの電気出力電圧を調整するのに用いられえ。あるいは電圧源 134 は、バッテリーから可変高電圧出力を作りえる可変ステップアップ回路を含みえる。以下にさらに詳細に記載されるように、電圧源 134 は、特定の剛性領域でポリマーを動作させるために、後述のスレッシュホールド電界を印加するのに用いられえ。

【0188】

システム 130 の所望の剛性または制動は、可変剛性／制動回路 136 によって制御され、これはシステム 130 内の制御電子回路によって提供される電氣的状態を設定および変化させることによって、トランスデューサ 132 によって与えられる所望の剛性／制動を提供する。この場合、剛性／制動回路 36 は、所望の電圧を電圧源 134 に入力し、および／またはパラメータを開ループ制御 138 に入力する。あるいはもし電圧源 134 を昇圧するためにステップアップ回路が用いられるなら、回路 136 は電圧制御を可能にするための信号をステップアップ回路に入力しえる。

【0189】

トランスデューサ 132 が撓むとき、その変化する電圧は、電荷がトランスデューサ 132 およびバッファキャパシタ 140 間で移動するようにさせる。よって例えば振動する機械的インタフェースからの、外部から誘起されたトランスデューサ 132 の膨張および収縮は、電荷が開ループ制御 138 を通してトランスデューサ 132 およびバッファキャパシタ 140 の間で行ったり来たりするようにさせる。トランスデューサ 132 へ、またはそれから動かされる電荷のレートおよび量は、バッファキャパシタ 140 の特性、トランスデューサ 132 に印加される電圧、電気回路中の任意の他の電氣的要素（電流がその中を通るときに制動機能を与える開ループ制御 138 として用いられる抵抗のような）、トランスデューサ 132 の機械的構成、およびトランスデューサ 132 に、またはそれによって与えられる力に依存する。ある実施形態においてバッファキャパシタ 140 は、トランスデューサ 132 のそれと実質的に等しい電圧を有し、システム 130 の電圧は電圧源 134 によって設定され、開ループ制御 138 はワイヤであり、このとき、トランスデューサ 132 の撓みについて実質的に自由な電荷の流れがトランスデューサ 132 およびバッファキャパシタ 140 の間で起こる。

【0190】

開ループ制御 138 は、トランスデューサ 132 によって与えられる剛性のための受動（供給される外部エネルギーなしで）動的応答を提供する。すなわち、トランスデューサ 132 によって提供される剛性は、制御電子回路および電圧源 134 のようなシステム 130 内に含まれる電気要素によって、または電気要素のうちの 1 つに働く制御回路 136 からの信号によって設定されえ。いずれの場合も、トランスデューサ 132 の応答は、それに与えられる外部の機械的撓みに対して受動的である。ある実施形態において、開ループ制御 138 は抵抗である。抵抗の抵抗値は、例えばトランスデューサが実現される機械的システム中の振動の周期のような関心のある時間に対して RC 時定数を提供するために設定しえる。ある実施形態において抵抗は、直列に接続された開ループ制御 138 およびトランスデューサ 132 の RC 時定数が、関心のある周波数に比較して長いように、高抵抗を有する。この場合、トランスデューサ 132 は、関心のある時間のあいだ、実質的に一定の電荷を有する。ある応用例については、関心のある周波数の周期の約 5 から約 30 倍の範囲の抵抗およびトランスデューサの RC 時定数を作る抵抗が適切でありえ。巡回的運動を含む応用例については、関心のある機械的周期よりもはるかに大きく RC 時定数を増すことは、1 サイクルのあいだのトランスデューサ 132 の電極上の電荷の量が実質的に一定に留まることを可能にする。トランスデューサが制動のために用いられる場合においては、関心のある周波数の周期の約 0.1 から約 4 倍の範囲の抵抗およびトランス

10

20

30

40

50

デューサのRC時定数を作る抵抗が適切でありえる。当業者なら抵抗に用いられる抵抗値が応用例に基づいて、特に関心のある周波数およびトランスデューサ132のサイズ（および、よってキャパシタンスC）について変わりえることが理解されよう。

【0191】

開ループ技術を用いて剛性および／または制動を制御するのに用いられる適切な電気状態のある実施形態においては、制御電子回路は、電流に最小限の影響を与える電氣的不正確さまたは回路の詳細から来るものを除いて、実質的に一定の電荷をトランスデューサ132の電極に与える。実質的に一定の電荷は、トランスデューサ132の撓みに抵抗するポリマーの増加された剛性につながる。実質的に一定の電荷を達成するある電氣的構成は、上述のように高いRC時定数を有するものである。開ループ制御138およびトランスデューサ132のRC時定数の値が関心のある周波数に比較して長いとき、トランスデューサ132の電極上の電荷は実質的に一定である。剛性および／または制動制御のさらなる記載は、共通して所有された特許出願第10／053,511号にさらに記載され、これは全ての目的のためにここで参照によって援用される。

10

【0192】

発電について、機械エネルギーは、電気エネルギーの変化がポリマーと接触する電極から取り除かれることを可能にするようなやりかたで、ポリマーまたはアクティブ領域に印加されえる。機械エネルギーを印加し、電気エネルギー変化をアクティブ領域から取り除く多くの方法が可能である。巻かれたデバイスは、電気エネルギー変化を受け取るためにこれらの方法の1つ以上を利用するよう設計されえる。発電および検出について、電気エネルギーの発電および利用は、ある種の調整電子回路を必要とする。例えば少なくとも、電気エネルギーをアクティブ領域から取り除くために最小限の量の回路が必要とされる。さらに他の例として、特定のアクティブ領域における電気発生効率または量を増すために、または出力電圧をより有用な値に変換するために、複雑さの度合いがさまざまである回路が用いられえる。

20

【0193】

図5Aは、パワー調整電子回路610に接続されるトランスデューサ上の1つ以上のアクティブ領域600のブロック図である。パワー調整電子回路610によって実行される本質的な機能は、以下に限定されないが、1) 電圧をアクティブ領域600に印加するときに用いられえるステップアップ回路602によって実行される電圧ステップアップ、2) 特定の時にアクティブ領域600から電荷を追加または除去するために用いられえる電荷制御回路604によって実行される電荷制御、3) トランスデューサへの電気出力電圧を調整するのに用いられえるステップダウン回路608によって実行される電圧ステップダウンを含みえる。これら機能の全ては、調整電子回路610内には必要とされないかもしれない。例えばいくつかのトランスデューサデバイスは、ステップアップ回路602を使用しないかもしれないし、他のトランスデューサデバイスはステップダウン回路608を使用しないかもしれないし、またはいくつかのトランスデューサデバイスはステップアップ回路およびステップダウン回路を使用しないかもしれない。またいくつかの回路機能は集積されえる。例えば1つの集積回路が、ステップアップ回路602および電荷制御回路608の両方の機能を実行しえる。

30

40

【0194】

図5Bは、本発明のある実施形態によるトランスデューサ600を採用する巻かれたデバイス603の回路ブロック図である。上述のように本発明のトランスデューサは、可変キャパシタとして電氣的には振る舞いえる。トランスデューサ603の動作を理解するために、2つの時刻 t_1 および t_2 における巻かれたトランスデューサ603の動作パラメータが比較されえる。任意の特定の理論に拘束されることを望まないが、発電機603の電氣的パフォーマンスに関する多くの理論的關係が展開される。これらの関係は、記載されるデバイスが動作されるやりかたを制限するように意図されたものではなく、例示的目的のみで提供される。

【0195】

50

第1時刻 t_1 において、巻かれたトランスデューサ600はキャパシタンス C_1 を持ち、トランスデューサ600間の電圧は、電圧601、 V_B でありえる。電圧601、 V_B は、ステップアップ回路602によって提供されえる。時刻 t_1 より後の第2時刻 t_2 において、トランスデューサ600は、キャパシタンス C_1 より低いキャパシタンス C_2 を持ちえる。一般に言って、より高いキャパシタンス C_1 は、ポリマトランスデューサ600が面積において伸長されるときに起こり、より低いキャパシタンス C_2 は、ポリマトランスデューサ600が面積において収縮または緩和されるときに起こる。任意の特定の理論に拘束されることを望まないが、電極付きのポリマーフィルムのキャパシタンスの変化は、キャパシタンスをフィルムの面積、厚さ、および誘電率に関連付けるよく知られた公式によって推定されえる。

10

【0196】

t_1 および t_2 間のトランスデューサ600のキャパシタンスの減少は、トランスデューサ600間の電圧を増す。増加された電圧は、ダイオード616を通る電流を駆動するのに用いられえる。ダイオード615は、そのような時に電荷がステップアップ回路に逆流するのを阻止するのに用いられえる。2つのダイオード615および616は、トランスデューサ600のための電荷制御回路604として機能し、これはパワー調整電子回路610（図5A参照）の一部である。発電機603および1つ以上のトランスデューサ600の構成に依存して、より複雑な電荷制御回路が開発されえ、これらは図5Bの設計に限定されない。

【0197】

20

トランスデューサはまた、検出される対象のパラメータの変化を計測するための電気活性ポリマーセンサとしても用いられえる。典型的にはパラメータ変化は、トランスデューサ内の撓みを誘起し、これはトランスデューサに取り付けられた電極によって出力される電気的变化に変換される。ポリマーを撓ませるために機械的または電氣的エネルギーを与える多くの方法が可能である。典型的にはトランスデューサからの電気エネルギーの検出は、ある種の電子回路を用いる。例えば、電極間の電氣的状態の変化を検出するために最小限の量の回路は必要とされる。

【0198】

図6は、本発明のある実施形態によるトランスデューサ451を採用するセンサ450のブロック図である。図7に示されるように、センサ450は、トランスデューサ451およびトランスデューサ451に含まれる電極に電氣的に通信するさまざまな電子回路455を備える。電子回路455は、トランスデューサ451から電氣的エネルギーを追加、除去、および／または検出するよう設計または構成される。電子回路455の要素の多くは個別ユニットとして記載されるが、いくつかの回路機能は集積されえることが理解されよう。例えば、1つの集積回路が論理デバイス465および電荷制御回路457の両方の機能を実行しえる。

30

【0199】

ある実施形態においては、トランスデューサ451は、最初はその電極間に電圧を印加することによって検出の準備をする。この場合、電圧 V_1 が電圧452によって提供される。一般に電圧 V_1 は、トランスデューサ451を駆動するのに必要とされる電圧より低い。ある実施形態において、低電圧バッテリーは、約1～15ボルトの範囲にある電圧 V_1 を供給しえる。特定の実施形態においては、電圧 V_1 の選択は、ポリマー誘電率、ポリマーのサイズ、ポリマーの厚さ、環境ノイズ、および電磁的干渉、センサ情報を使用または処理しえる電子回路との適合性など多くのファクタに依存する。初期電荷が電子制御サブ回路457を用いてトランスデューサ451上に与えられる。電子制御サブ回路457は、典型的には、シングルチップコンピュータまたはマイクロプロセッサのような電圧および／または電荷制御機能をトランスデューサ451に対して実行するための論理デバイスを含みえる。電子制御サブ回路457はそれから、初期的に比較的低い電圧をトランスデューサ451に印加するために、電圧452によって提供される電圧を変化する働きを担う。

40

50

【0200】

検出電子回路460は、トランスデューサ451の電極と電氣的通信をし、トランスデューサ451の電気エネルギーまたは特性の変化を検出する。検出に加えて、検出電子回路460は、トランスデューサ451の電気エネルギーまたは特性の変化を検出、計測、処理、伝達、および／または記録するよう構成された回路を含みえる。本発明の電気活性ポリマートランスデューサは、なんらかの方法で電気活性ポリマートランスデューサの撓みに応答するよう電氣的に振る舞いえる。したがって、トランスデューサ451の電氣的エネルギーの変化を検出するために、多くの単純な電氣的計測回路およびシステムが計測電子回路460内で実現されえる。例えばもしトランスデューサ451がキャパシタンスモードで動作するなら、トランスデューサ451のキャパシタンスの変化を検出するためには単純なキャパシタンスブリッジが用いられえる。他の実施形態において、高抵抗の抵抗器がトランスデューサ451と直列に配置され、高抵抗抵抗器の両端の電圧降下がトランスデューサ451が撓むときに計測される。より具体的には、電気活性ポリマーの撓みによって誘起されたトランスデューサ451の電圧の変化は、高抵抗抵抗器を通る電流を駆動するのに用いられる。抵抗器にわたる電圧変化の極性がそれから電流の方向、およびポリマーが伸長または収縮しているかを決定する。抵抗検出技術も、ポリマーに含まれた抵抗の変化、または電極の抵抗の変化を計測するのに用いられえる。これら技術のある例は、共通して所有された特許出願第10／007,705号に記載され、これは先に参照によって援用された。

10

【0201】

6. 応用例

20

【0202】

以下に挙げられるのは、上述の熱力学的仕事を流体に行ういくつかのトランスデューサおよびデバイスのためのいくつかの例示的応用例である。ここで記載される例示的応用例は、本発明の範囲を限定するよう意図されていない。当業者にはわかるように、本発明のトランスデューサは、電気および機械エネルギー間の変換を要求する無数の応用例において使用例を見いだせる。

【0203】

図7Aは、熱力学的仕事を流体に行うEPAMデバイスに接続された人間または動物のような宿主500のブロック図である。本発明のEPAMデバイスは、医用応用例において駆動力を流体に与えるために用いられえる。大きくは、EPAMデバイスは、人間または動物のような宿主の医療において、血液、空気、薬用成分を持つ薬剤、リンパ液、食物、脊髄液、排出液（例えば尿）、胃液など任意の流体を動かすのに用いられえる。特に、EPAMデバイスは、心臓の代わりに、または心臓と共に血液に対してポンプ動作するような心臓補助を実行する医用デバイスに統合されえる。EPAMデバイスは、呼吸が困難な人を助けるために人工呼吸器および肺補助デバイスのような、人体に空気を供給する医用デバイスのために用いられえる。

30

【0204】

さらに他の実施形態において、EPAMデバイスは、1)透析デバイス（例えば流体を人体の中へ、および外へ移動させる）、2)血漿泳動デバイス（例えば血漿を人体の中へ、および外へ移動させる）、3)血液ポンプデバイス（例えば血液を輸液の一部として人体の中へ注入する）、および4)薬剤送出デバイス（例えば薬剤をIVから注入する、または薬剤を人体中に埋め込まれたデバイスを介して送出する）の一部として熱力学的仕事を流体に行うために用いられえる。

40

【0205】

熱力学的仕事を行うEPAMデバイスは、体の外部（体外）にあってもよく（501）、なんらかの方法で体に接続されてもよい。例えば、体に接続される透析器または心臓移植手術のあいだ血液を循環させるデバイスは、本発明のEPAMデバイスを用いえる。EPAMデバイスは、体の内部に位置しえる。例えば、インシュリンのような薬剤を送出する医用デバイス502は、皮下に埋め込まれて、インシュリンを体内に注入するためにE

50

PAMデバイスを使用しえる。他の実施形態において、埋め込まれたデバイス502は、傷ついた、または病気の心臓を助ける人工心臓、または心臓補助デバイスでありえる。さらに他の実施形態において、熱力学的仕事を流体に行うEPAMデバイスは、着用可能である。例えば、人は薬剤を送出するEPAMポンプデバイスのようなデバイス503を着用しえる。

【0206】

他の実施形態において、熱力学的仕事を行うEPAMデバイスは、極端な環境下で用いられる服または装置内で用いられえ。例えば、EPAMデバイスは、ダイビングスーツ内で流体を移動および制御し、生物／化学保護服中で流体を循環し、および防火服中で流体を循環するのに用いられえ。循環される流体は、体温を制御および冷却するような熱制御のためや、呼吸できる流体を供給するのに用いられえ。流体は、服内、または服に用いられる材料内に常駐する導管内で規定される空間内で循環されえ。

【0207】

図7Bは、熱力学的仕事を流体に行うEPAMデバイスを採用する自動車および自動車のサブシステム515のブロック図である。大きくは熱力学的仕事を行うEPAMデバイスは、自動車のサブシステム内で用いられる任意の流体に熱力学的仕事を行うために用いられえ。特に、EPAMデバイスは、エンジンを冷却するために用いられる空気または水のような流体を内部導管内でポンプで動かすためにエンジン冷却サブシステム509内で用いられえ。EPAMデバイスは、冷却ファン、またはエンジンブロックまたはラジエータのようなエンジン部品周りを外から空気を動かすのに用いられるデバイス内で用いられえ。

【0208】

他の実施形態において、EPAMデバイスは、風防に風防ワイパー流体を送出するための風防流体システム中で用いられえ。EPAMデバイスは、燃料をエンジンに送る燃料ポンプの一部として、またはエンジン内で用いられる空気ポンプ／圧縮機システムの一部として燃料／空気システム507内で用いられえ。EPAMデバイスは、加熱または冷却された空気を乗客室内へ送るために、冷凍システムのための冷却ファンの一部として冷媒を送出するためにヒーティング／ACシステム505内で用いられえ。EPAMデバイスは、オイルポンプ内の要素としてエンジン／オイルシステム511の一部として用いられえ。EPAMデバイスは、排気ガスをシステムを通して移動させるための排気／汚染制御システム506の一部として用いられえ。

【0209】

特定の実施形態において、EPAMデバイスは、タイヤに圧縮された空気を加えるためのタイヤシステム510の一部として用いられえ。タイヤポンプは、それぞれのタイヤに位置しえ、これによりタイヤがそれ自身のタイヤ圧を自己制御できる。EPAMタイヤポンプは、タイヤ内の圧力、道路状況（例えば乾いた、濡れた、氷のあるなど）、および環境条件（例えば温度）を計測するセンサに接続されえ。自動車が運転されているときに、走行が開始されたときに、および／または停車中に、センサデータからEPAMタイヤポンプ510は、適切なタイヤ圧を決定し、タイヤ圧を調整しえる。タイヤポンプは、自動車内のセンサ制御システムに接続されえ。

【0210】

図7Cは、インクジェットプリンタヘッド520内で熱力学的仕事を流体に行うEPAMデバイスのブロック図である。インクジェットプリンタヘッドは、複数の毛細管チューブノズル523を含みえ、これらはEPAM材料から構成されえ。EPAMバルブ524は、ノズル523へのフローを制御するためにそれぞれのノズルと共に用いられえ。EPAMマイクロロールアクチュエータ521は、インクリザーバ522からインクを吐出し、ノズル523から放出する前にインクを加圧するのに用いられえ。本発明と共に用いられえEPAMバルブおよびノズルの詳細は、Heimらによる2003年3月5日に出願された「Electroactive Polymer Devices for Controlling Fluid Flow」と題された同時係属中の米国特許出願第10／ 、 号に記載され、これは先にここで記載され

10

20

30

40

50

た。

【0211】

ある実施形態において、集積されたE P A Mデバイスは、ポンプ、バルブおよびノズルの機能を実行しえる。単一のE P A M要素は、流体（例えばインク）の加圧を実行し、それからE P A Mデバイスのポンプ部分のストロークの最後において、または所定の時間が決められた部分において噴射ノズル523のバルブ524（ピントルとも呼ばれる）を開放しえる。加圧された液体はそれからノズルを通して流れるときに霧状にされえる。この実施形態は、インクジェットヘッドまたは自動車の燃料噴射機のような霧状の噴射の正確な計量が必要とされる場合に用いられえる。

【0212】

6. 結論

【0213】

本発明はいくつかの好ましい実施形態について記載されてきたが、簡潔さのために省略された、本発明の範囲に入る代替物、組み合わせ、および等価物が存在する。例えば、本発明はいくつかの具体的な電極材料について記載されてきたが、本発明はこれらの材料に限定されず、場合によっては空気を電極として含みえる。加えて、本発明は円形に巻かれた幾何学的形状について記載されてきたが、本発明はこれら形状には限定されず、正方形、長方形、または楕円の断面およびプロファイルを持つ巻かれたデバイスを含みえる。したがって本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲を参照して決定されるべきであることが意図される。

【図面の簡単な説明】

【0214】

【図1A】本発明のある実施形態による電圧の印加の前のトランスデューサ部の上面図である。

【図1B】本発明のある実施形態による電圧の印加の後のトランスデューサ部の上面図である。

【図2A】熱力学的仕事を流体に行う鞭毛状運動を利用する電気活性ポリマー（E P A M）デバイスを示す図である。

【図2B】熱力学的仕事を流体に行う鞭毛状運動を利用する電気活性ポリマー（E P A M）デバイスを示す図である。

【図2C】熱力学的仕事を流体に行う鞭毛状運動を利用する電気活性ポリマー（E P A M）デバイスを示す図である。

【図2D】熱力学的仕事を流体に行う鞭毛状運動を利用する電気活性ポリマー（E P A M）デバイスを示す図である。

【図2E】熱力学的仕事を流体に行うペローズを持つ電気活性ポリマー（E P A M）デバイスを示す図である。

【図2F】熱力学的仕事を流体に行うペローズを持つ電気活性ポリマー（E P A M）デバイスを示す図である。

【図2G】E P A Mトランスデューサによって駆動されるピストン、およびピストンシリンダの容積を制御するE P A Mトランスデューサを持つ熱力学的仕事を流体に行う電気活性ポリマー（E P A M）デバイスを示す図である。

【図2H】E P A Mトランスデューサによって駆動されるファン、およびファンブレードの形状および姿勢を制御するE P A Mトランスデューサを持つ熱力学的仕事を流体に行う電気活性ポリマー（E P A M）デバイスを示す図である。

【図2I】熱源周りに冷却流体を循環させる電気活性ポリマー（E P A M）球状ポンプデバイスを示す図である。

【図2J】電気活性ポリマー（E P A M）蠕動ポンプデバイスのある実施形態を示す図である。

【図2K】電気活性ポリマー（E P A M）波状運動ポンプデバイスのある実施形態を示す図である。

10

20

30

40

50

- 【図 2 L】ベローズバネロールトランスデューサの実施形態を示す図である。
- 【図 2 M】ベローズバネロールトランスデューサの実施形態を示す図である。
- 【図 3 A】E P A Mチューブポンプデバイスの第 1 実施形態を示す図である。
- 【図 3 B】E P A Mチューブポンプデバイスの第 1 実施形態を示す図である。
- 【図 3 C】E P A M油圧シリンダデバイスのある実施形態を示す図である。
- 【図 3 D】E P A M油圧シリンダデバイスのある実施形態を示す図である。
- 【図 3 E】E P A Mチューブポンプデバイスの第 2 実施形態を示す図である。
- 【図 3 F】E P A Mダイアフラムアレイポンプの実施形態を示す図である。
- 【図 3 G】E P A Mフィルムポンプの実施形態を示す図である。
- 【図 3 H】E P A Mフィルムポンプの実施形態を示す図である。 10
- 【図 3 I】多段 E P A M圧縮機またはポンプデバイスの実施形態を示す図である。
- 【図 3 J】多段 E P A M圧縮機またはポンプデバイスの実施形態を示す図である。
- 【図 4 A】本発明のある実施形態による巻かれた電気活性ポリマーデバイスを示す図である。
- 【図 4 B】本発明のある実施形態による巻かれた電気活性ポリマーデバイスを示す図である。
- 【図 4 C】本発明のある実施形態による巻かれた電気活性ポリマーデバイスを示す図である。
- 【図 4 D】本発明のある実施形態による巻かれた電気活性ポリマーデバイスを示す図である。 20
- 【図 4 E】本発明のある実施形態による図 2 A の巻かれた電気活性ポリマーデバイスのエンドピースを示す図である。
- 【図 4 F】本発明のある実施形態によるポリマー撓みに関連する構造変化に基づいた可変剛性を提供する曲げトランスデューサを示す図である。
- 【図 4 G】90 度の曲げ角を持つ図 4 A のトランスデューサを示す図である。
- 【図 4 H】本発明の他の実施形態による可変剛性を提供するのに適するボウデバイスを示す図である。
- 【図 4 I】駆動後の図 4 C のボウデバイスを示す図である。
- 【図 4 J】本発明のある実施形態による単一のポリマー上の複数のアクティブ領域を備えるモノリシクトランスデューサを示す図である。 30
- 【図 4 K】本発明のある実施形態による巻かれる前の単一のポリマー上の複数のアクティブ領域を備えるモノリシクトランスデューサを示す図である。
- 【図 4 L】本発明のある実施形態による 2 次元出力を作る巻かれたトランスデューサを示す図である。
- 【図 4 M】半径方向にアラインされたアクティブ領域の 1 つのセットについての駆動がなされる図 4 L の巻かれたトランスデューサを示す図である。
- 【図 4 N】本発明のある実施形態による開ループ可変剛性／制動システムの電気ブロック図である。
- 【図 5 A】パワー調整電子回路に接続された 1 つ以上のアクティブ領域のブロック図である。 40
- 【図 5 B】本発明のある実施形態による巻かれた電気活性ポリマートランスデューサを採用するデバイスの回路ブロック図である。
- 【図 6】本発明のある実施形態による電気活性ポリマートランスデューサを採用するセンサのブロック図である。
- 【図 7 A】熱力学的仕事を流体に行う E P A M デバイスに接続された人体のブロック図である。
- 【図 7 B】熱力学的仕事を流体に行う E P A M デバイスを採用する自動車および自動車サブシステムのブロック図である。
- 【図 7 C】インクジェットプリンタ上で熱力学的仕事を流体に行う E P A M デバイスのブロック図である。 50

【図 1 A】

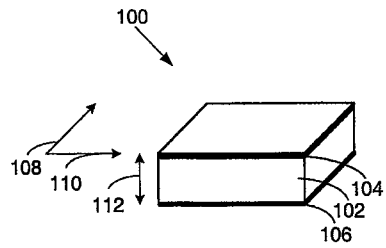


FIG. 1A

【図 2 A】

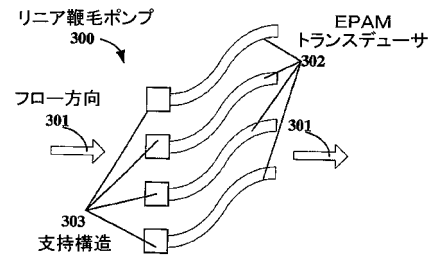


Figure 2A

【図 1 B】

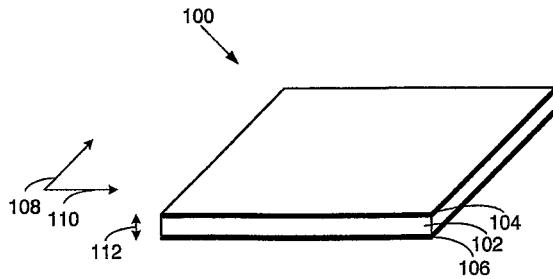


FIG. 1B

【図 2 B】

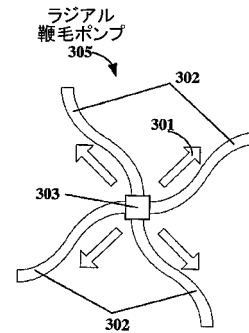


Figure 2B

【図 2 C】

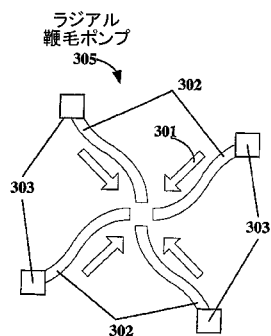


Figure 2C

【図 2 E】

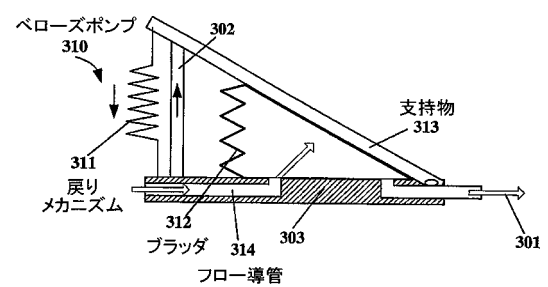


Figure 2E

【図 2 D】

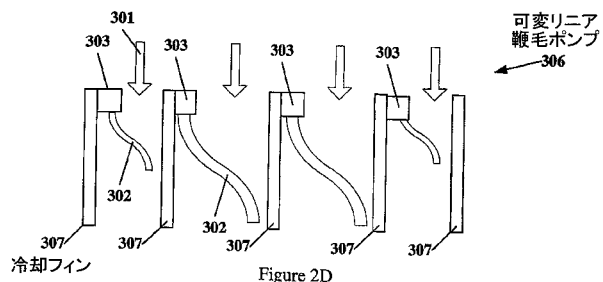


Figure 2D

【図 2 F】

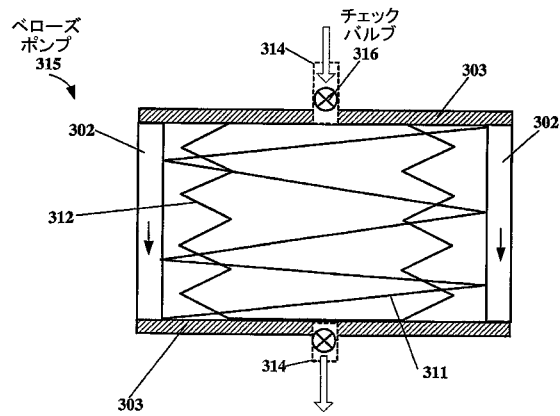


Figure 2F

【図 2 G】

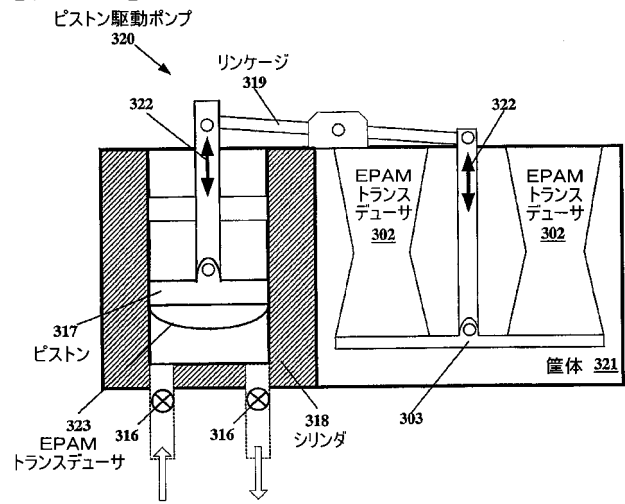


Figure 2G

【図 2 H】

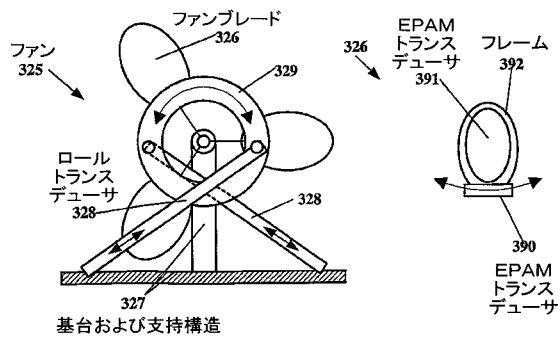


Figure 2H

【図 2 I】

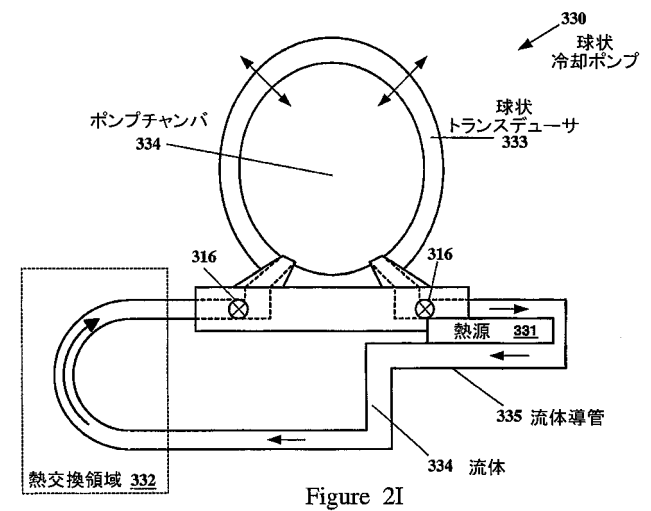


Figure 2I

【図 2 J】

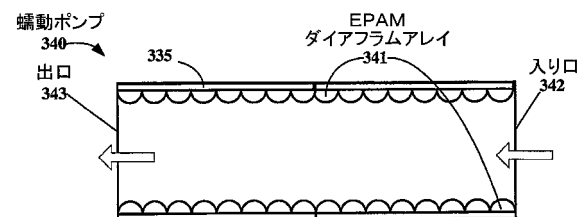
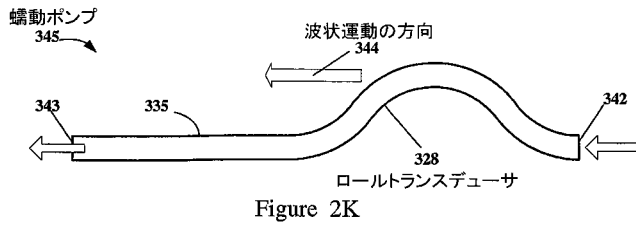
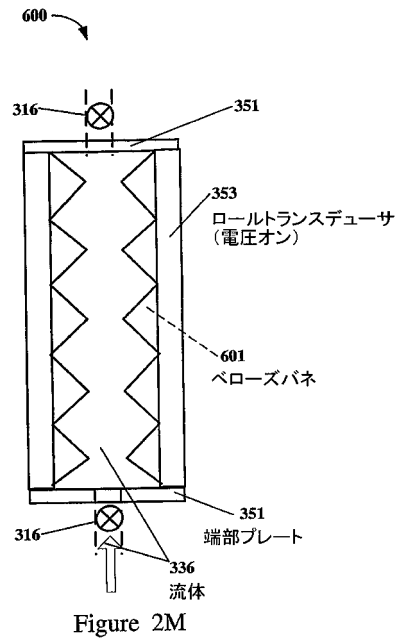


Figure 2J

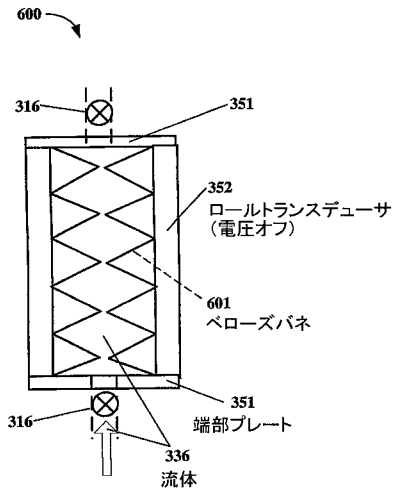
【図 2 K】



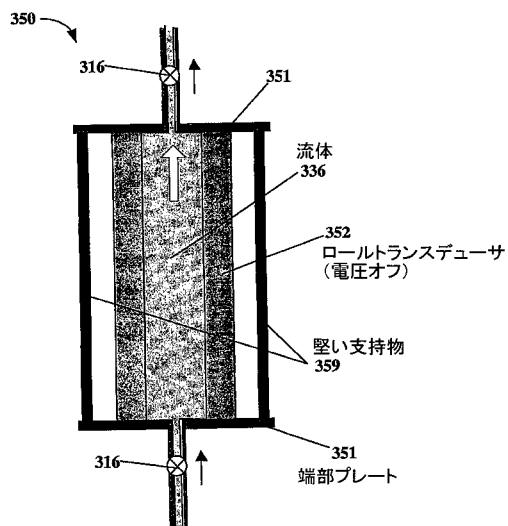
【図 2 M】



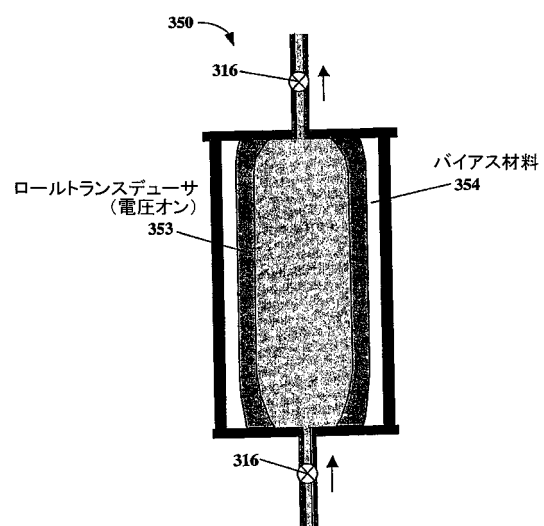
【図 2 L】



【図 3 A】



【図 3 B】



【図 3 C】

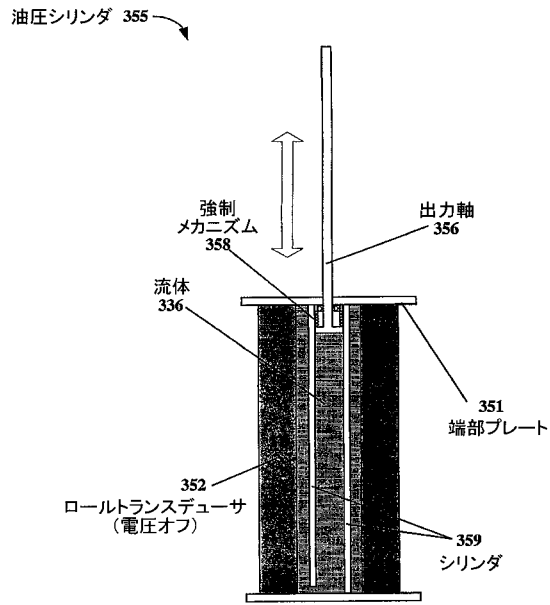


Figure 3C

【図 3 D】

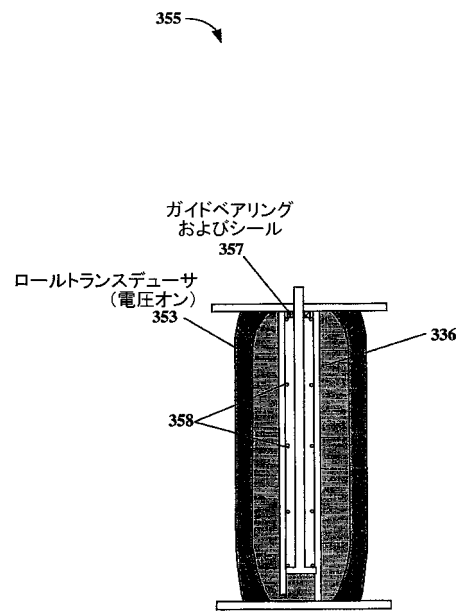


Figure 3D

【図 3 E】

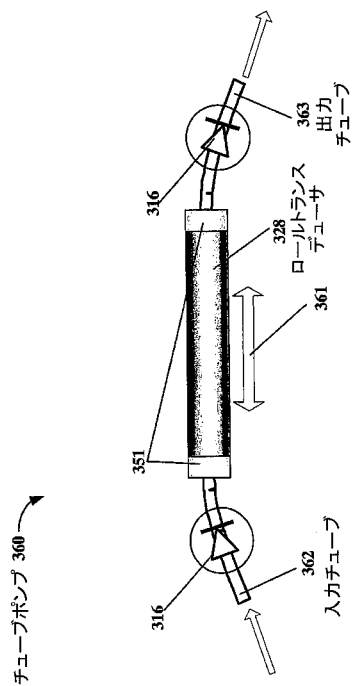


Figure 3E

【図 3 F】

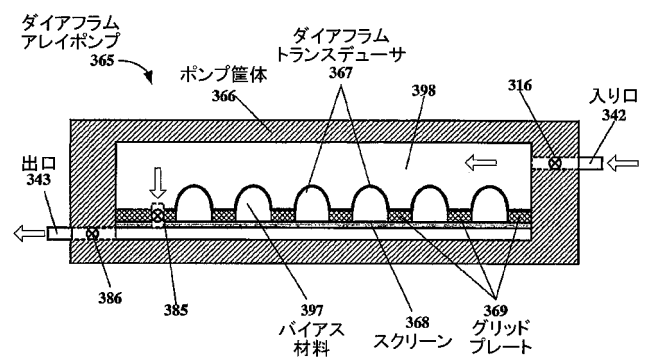


Figure 3F

【図 3 G】

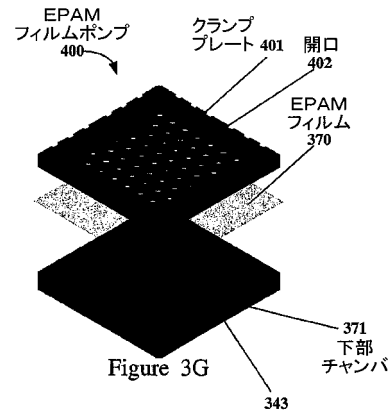


Figure 3G

【図 3 H】

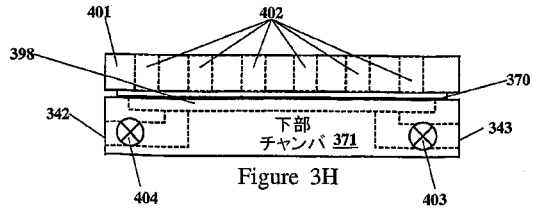


Figure 3H

【図 3 I】

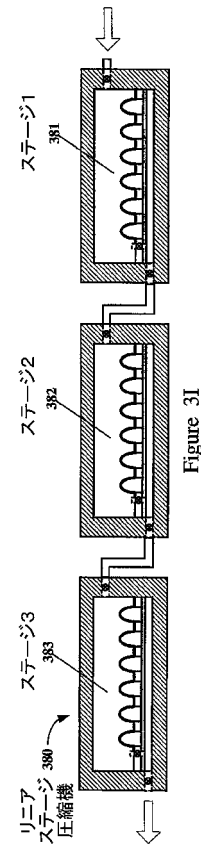


Figure 3I

【図 3 J】

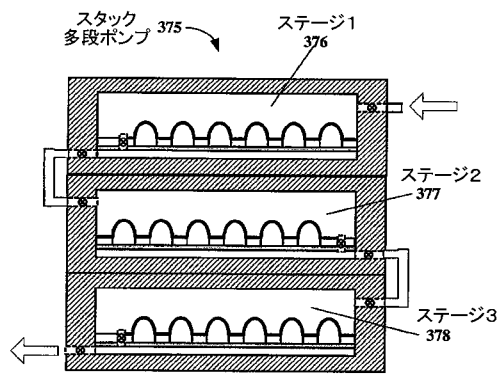


Figure 3J

【図 4 A】

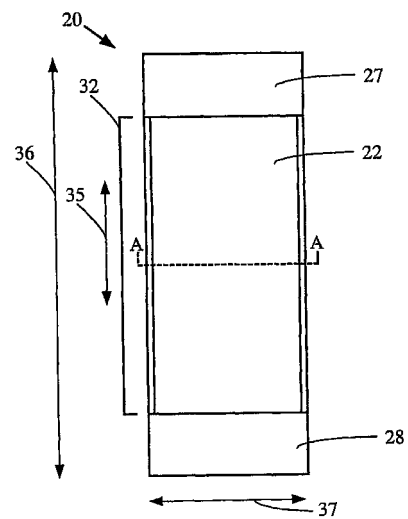


Figure 4A

【図 4 B】

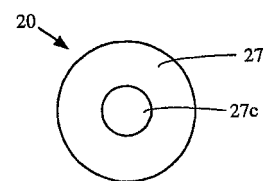


Figure 4B

【図 4 C】

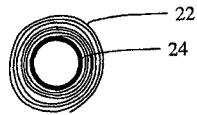


Figure 4C

【図 4 E】

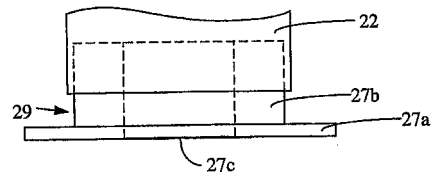


Figure 4E

【図 4 D】

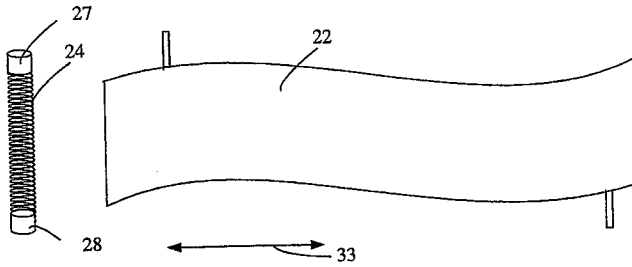


Figure 4D

【図 4 F】

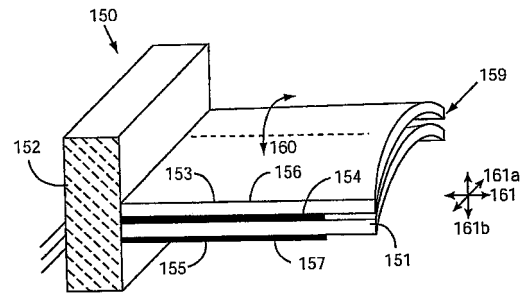


FIG. 4F

【図 4 G】

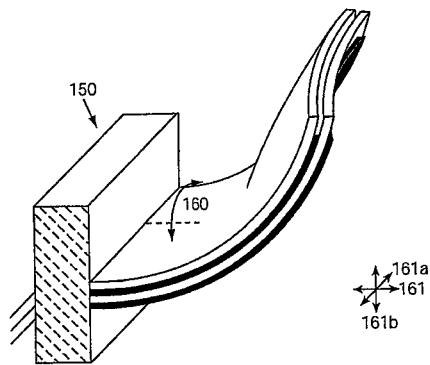


FIG. 4G

【図 4 I】

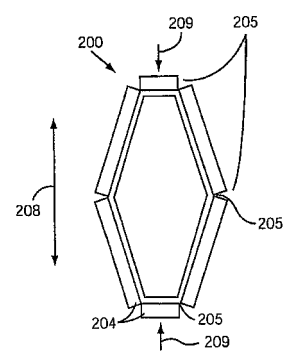


FIG. 4I

【図 4 H】

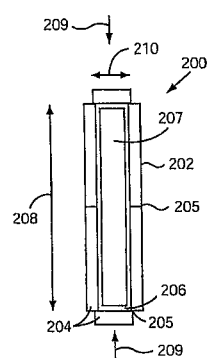


FIG. 4H

【図 4 J】

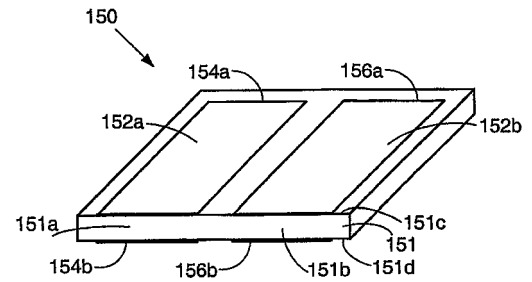


FIG. 4J

【図 4 K】

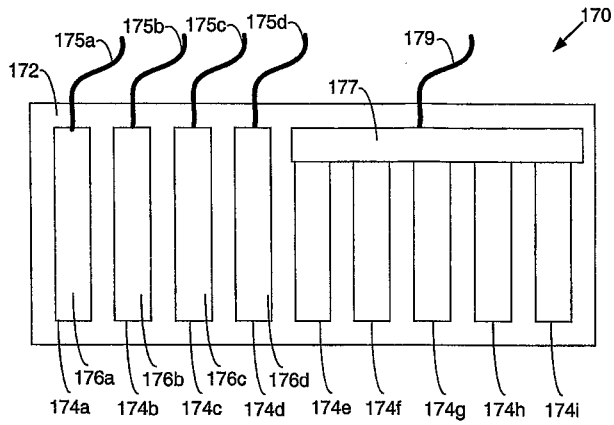


FIG. 4K

【図 4 L】

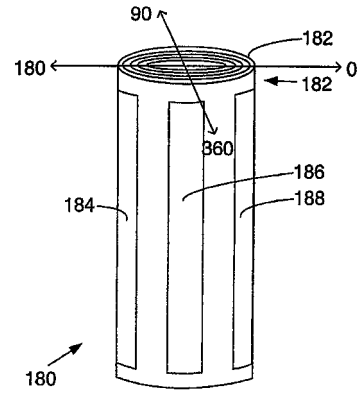


FIG. 4L

【図 4 M】

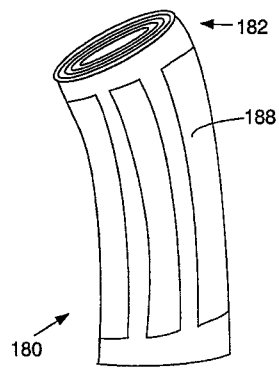


FIG. 4M

【図 4 N】

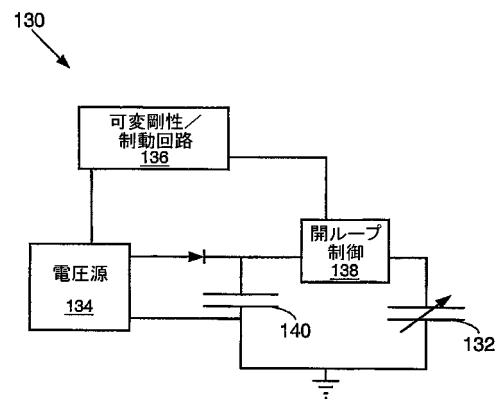


FIG. 4N

【図 5 A】

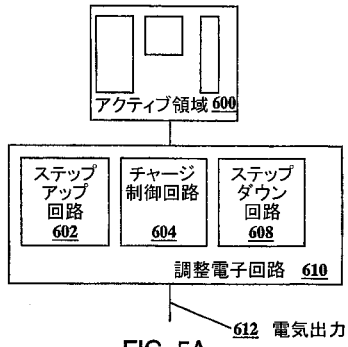


FIG. 5A

【図 6】

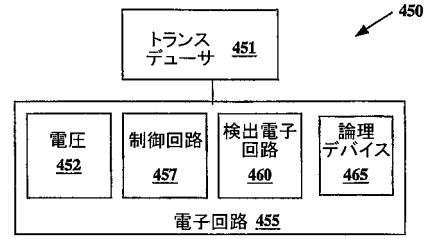


FIG. 6

【図 5 B】

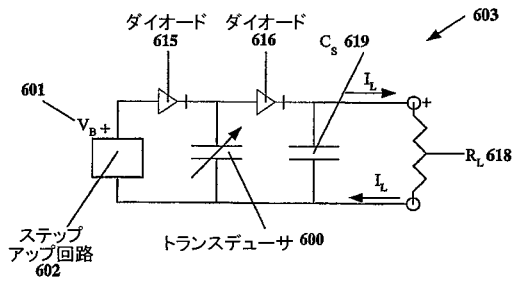


FIG. 5B

【図 7 A】

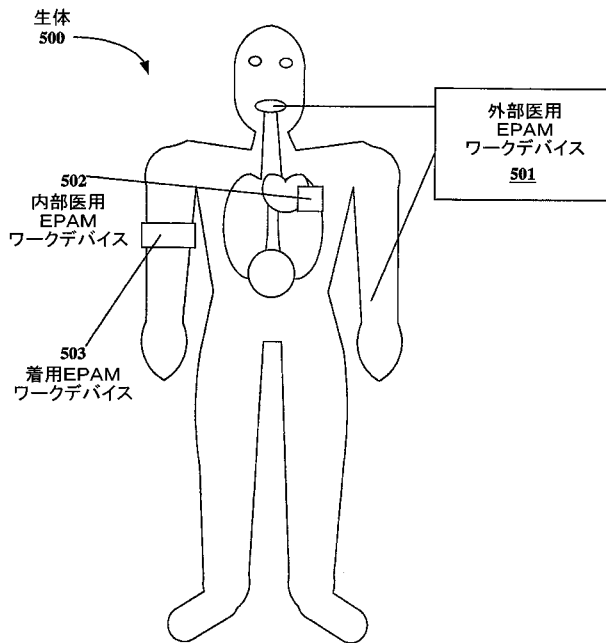


FIG. 7A

【図 7 B】

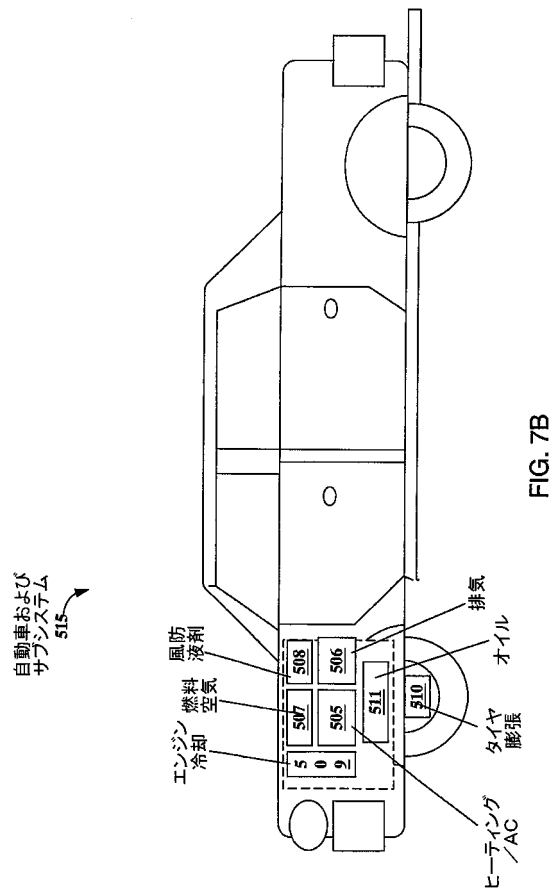


FIG. 7B

【図 7 C】

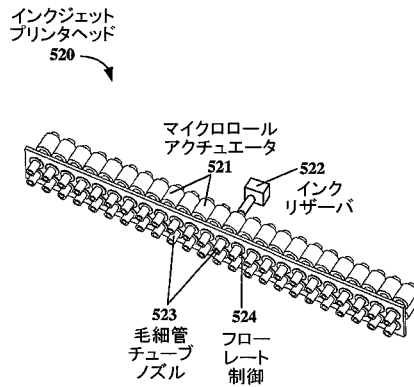


FIG. 7C

【手続補正書】

【提出日】平成16年11月18日(2004.11.18)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

熱力学的仕事を流体に行うデバイスであって、

1つ以上のトランスデューサであって、それぞれのトランスデューサは少なくとも2つの電極、および前記少なくとも2つの電極に電氣的に接続する電気活性ポリマーを備え、前記電気活性ポリマーの一部は、電界の変化に応答して第1位置から第2位置に撓むように構成される、1つ以上のトランスデューサ、

流体に接触し、前記1つ以上のトランスデューサに動作可能に結合された少なくとも1つの表面であって、前記電気活性ポリマーの前記一部の前記撓みは、前記熱力学的仕事の前記流体に行われるようにし、前記熱力学的仕事は前記流体に前記1つの表面を介して伝達される少なくとも1つの表面を備えるデバイス。

【請求項2】

請求項1に記載のデバイスであって、前記1つの表面は、前記1つ以上のトランスデューサに機械的リンケージを介して結合されるデバイス。

【請求項3】

請求項1に記載のデバイスであって、

前記流体を受け取るチャンバであって、前記チャンバの境界表面は、前記1つの表面を

含むチャンバ

をさらに備えるデバイス。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のデバイスであって、前記電気活性ポリマーの前記部分の前記撓みは、前記チャンバの容積の変化を引き起こすデバイス。

【請求項 5】

請求項 1 に記載のデバイスであって、

前記流体が前記デバイスを通して移動することを可能にするフローパスの少なくとも一部を提供するのに用いられる 1 つ以上の流体導管

をさらに備えるデバイス。

【請求項 6】

請求項 1 に記載のデバイスであって、前記デバイスは、第 2 デバイス中の 1 つ以上の位置における温度を制御する熱制御システムにおいて用いられるデバイス。

【請求項 7】

請求項 6 に記載のデバイスであって、前記第 2 デバイスはコンピュータであり、前記位置群のうちの 1 つは前記コンピュータのマイクロプロセッサの近傍であるデバイス。

【請求項 8】

請求項 6 に記載のデバイスであって、前記流体は、熱エネルギーを第 1 位置から、前記第 2 デバイス中の第 2 位置へ伝導するデバイス。

【請求項 9】

請求項 1 に記載のデバイスであって、

強制戻りメカニズムであって、前記強制戻りメカニズムは、前記電気活性ポリマーの前記部分が前記第 2 位置から前記第 1 位置へ戻る力の少なくとも一部を提供する強制戻りメカニズム

をさらに備えるデバイス。

【請求項 10】

請求項 1 に記載のデバイスであって、

前記 1 つの表面を前記 1 つの表面と接触する前記流体の成分から保護するよう設計または構成される絶縁バリア

をさらに備えるデバイス。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US03/08708

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(7) : H02N 1/00; H01L 41/09; H01L 41/16 US CL : 310/328; 417/413.2, 474 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 310/328; 417/413.2, 474, 475, 321 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched NONE Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JPO, EPO, DERWENT, US-PG PUBS, IBM-TBD		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	✓ US 6,435,840 B1 (Sharma et al.) 20 August 2002, Abstract, figs. 3A-3E, col. 3, ll. 34-47, claims 17, 18.	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 28, 29, 50, 51, 78, 87, 88
A	✓ US 5,933,170 A (Takeuchi, et al.) 03 August 1999, fig. 1.	1, 3-6
A,E	✓ US 6,545,384 B1 (Pelrine et al.) 08 April 2003, fig. 6.	1
A	✓ US 6,343,129 B1 (Pelrine, et al.) 29 January 2002, fig. 6.	1
A	✓ US 6,093,995 A (Lazarus et al.) 25 July 2000, figs. 3, 3A, col. 11, line 8.	1
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:	"I"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"B" earlier document published on or after the international filing date	"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&"	document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search 06 MAY 2003	Date of mailing of the international search report 01 JUL 2003	
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703) 305-3230	Authorized officer <i>Shawn J. Hays</i> THOMAS M. DOUGHERTY Telephone No. (703) 308-1626	

International application No.
PCT/US03/08703

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	✓ US 5,509,868 A (Miller) 23 April 1996, figs. 1A, 1B.	1
A	✓ US 4,284,921 A (Lemonon et al.) 18 August 1981, figs. 5, 7.	1
A	✓ US 5,481,152 A (Buschulte) 02 January 1996, figs. 1-4.	1
A	✓ US 3,050,034 A (Benton) 21 August 1962, figs. 1-3.	1

フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷ F I テーマコード (参考)
F 0 4 B 43/12 A 6 1 M 5/14 4 8 1

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA, GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ, EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,M W,MX,MZ,NI,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 コーンブルー・ロイ・デイビッド
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 3 0 1 パロ・アルト, パロ・アルト・ドライブ, 2 6 0

(72)発明者 スタンフォード・スコット・イー.
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 3 0 3 パロ・アルト, オレゴン・アベニュー, 9 6 7

(72)発明者 ペイ・キビング
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 9 フリモント, パセオ・パドレ・パークウェイ, 4 6 7 1 0

(72)発明者 ハイト・リチャード
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 3 0 1 パロ・アルト, ガインダ・ストリート, 1 0 9 0

(72)発明者 エクリ・ジョゼフ・エス.
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 2 5 レッドウッド・シティ, ボックス 2 0, スター・ルート

(72)発明者 ハイム・ジョナサン・アール.
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 4 4 パシフィカ, クラレンドン・ロード, 6 1

F ターム(参考) 3H075 AA01 BB01 BB06 BB08 CC36 CC40 DB01 DB21 EE01 EE11
3H077 AA00 BB00 CC01 CC06 CC10 CC11 DD01 EE01 EE15 EE21
EE22 EE34 FF01 FF06 FF31
4C066 AA09 BB01 CC01 DD11 DD15 HH01
4C077 AA04 AA30 BB10 DD01 DD02 DD07 DD08 DD15 KK25 KK27
NN01 PP07 PP14 PP16