

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3451323号
(P3451323)

(45) 発行日 平成15年9月29日(2003.9.29)

(24) 登録日 平成15年7月18日(2003.7.18)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I
B 8 1 B 7/02		B 8 1 B 7/02
B 8 1 C 5/00		B 8 1 C 5/00
F 0 4 B 17/04		F 0 4 B 17/04

請求項の数10(全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2001-66782(P2001-66782)
(22) 出願日	平成13年3月9日(2001.3.9)
(65) 公開番号	特開2002-264091(P2002-264091A)
(43) 公開日	平成14年9月18日(2002.9.18)
審査請求日	平成13年3月9日(2001.3.9)

(73) 特許権者	391016923 北海道大学長 北海道札幌市北区北8条西5丁目8番地
(72) 発明者	嘉数 侑昇 北海道江別市文京台52-18
(72) 発明者	横井 浩史 北海道札幌市北区屯田5条11丁目7-10
(72) 発明者	石田 崇 北海道札幌市北区新琴似2条12丁目4-10
(74) 代理人	100058479 弁理士 鈴江 武彦 (外5名)
審査官	高田 元樹

(56) 参考文献	特開 平5-332247 (J P, A) 特公 昭55-598 (J P, B 2)
-----------	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 MHD方式による形態創生機械のための可塑性導電体の駆動システムおよび駆動方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 可塑性導電体の駆動システムであって、格子平面を形成する絶縁性基板と、前記格子平面に格子状に配置された複数の電極と、前記複数の電極にそれぞれ所定の電位を印加する手段と、前記絶縁性基板上に移動可能に配置され、前記電極の少なくとも2つの電極に接触して、これら電極間の電位差に基づき電流が生ずる可塑性導電体と、前記絶縁性基板上に前記電流と交差する磁場を生成する手段とを有し、前記電流と前記磁場の相互作用に基づくローレンツ力により、前記基板表面上の前記可塑性導電体を駆動し、前記可塑性導電体を前記格子平面上において任意に移動させることを特徴とする駆動システム。

【請求項2】 前記可塑性導電体の駆動により、前記可塑性導電体は所定の变形、分裂、または合体を行うことを特徴とする請求項1記載の駆動システム。

【請求項3】 前記複数の電極は前記絶縁性基板の表面から突出する柱状の形状を有することを特徴とする請求項1または請求項2記載の駆動システム。

【請求項4】 前記複数の電極の各上面と、前記絶縁性基板の上部表面が同一面内にあることを特徴とする請求項1または請求項2記載の駆動システム。

【請求項5】 前記電位を印加する手段は、前記電極をそれぞれ独立に複数の異なる電圧源に接続することが可能なスイッチ回路を有することを特徴とする請求項1または請求項2記載の駆動システム。

【請求項6】 前記電極の通電状態を監視することにより、前記可塑性導電体の位置を認識する位置認識手段を

有することを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれか1項に記載の駆動システム。

【請求項7】 前記可塑性導電体は、水銀、ナトリウム、リチウム、鉛、ビスマス、錫、ガリウム、NaK、または導電性樹脂のいずれかから選択されることを特徴とする請求項1に記載の駆動システム。

【請求項8】 複数の論理素子を含む論理装置において、
互いに離隔して配置された複数の電極を有する絶縁性基板と、
前記複数の電極にそれぞれ所定の電位を印加する手段と、
前記絶縁性基板上に移動可能に配置され、前記電極の少なくとも2つの電極に接触して、これら電極間の電位差に基づき電流が生ずる可塑性導電体と、
前記絶縁性基板上に前記電流と交差する磁場を生成する手段とを有し、
前記電流と前記磁場の相互作用に基づくローレンツ力により、前記基板表面上の前記可塑性導電体を駆動する駆動システムを有し、

各論理素子を結合する配線の結合、切断を前記駆動システムを使用して前記可塑性導電体により行い、論理動作の変更を可能とする論理装置。

【請求項9】 記憶装置であって、
請求項1に記載の駆動システムを使用して可塑性導電体の移動および保持を行い、
前記格子平面における前記可塑性導電体の位置を制御することにより、電気的物理的な情報保持を可能とする記憶装置。

【請求項10】 可塑性導電体の駆動方法であって、
格子平面を形成する絶縁性基板を準備し、ここで前記絶縁性基板は前記格子平面に格子状に配置された複数の電極を有しており、
前記電極の少なくとも2つの電極に接触してこれらの電極間の電位差に基づき電流が生ずる可塑性導電体を前記絶縁性基板上に移動可能に配置し、
前記絶縁性基板上に磁場を生成し、
前記複数の電極のうち所定の電極に所定の電位を印加して前記可塑性導電体に電流を生じさせ、前記電流と前記磁場の相互作用に基づくローレンツ力により前記可塑性導電体を駆動して前記可塑性導電体を前記格子平面上において任意に移動させることを特徴とする駆動方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は一般にロボット技術に関するもので、より詳しくは液体ロボットシステム、即ち、柔軟構造を有するロボットシステムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】導電性流体を用いたMHD (magneto-hy

dro-dynamics、電磁流体力学) 技術は1960年代から注目されており、例えばプラズマによるMHD発電などの研究開発が現在も続けられている。しかしながら、電磁流体力学システムを液体ロボットなどの柔軟構造機械として利用する技術は知られておらず、さらにロボット工学、電気工学、情報工学などの領域においても全く知られていない。

【0003】従来技術においては、多数の構成要素間の相互作用を考慮した制御法が確立されておらず、いわゆる流体ロボットを物理的な粒子や流体を用いて具現化することは極めて困難であった。構造的に柔らかいロボットの実現手法として、形状記憶合金(SMA)の熱制御や電解質ゲル中の電場制御などが知られているが、本発明は原理的にこれらの技術とは全く異なるものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】特にロボット工学において、その物理的構造、形状を変化させることは次世代の環境適応型ロボットに不可欠な機能であり、本発明に係る可塑性導電体の駆動システムはその一側面を担うものである。

【0005】本発明の目的は、液体のような構造および形状に関し極めて自由度の高い柔軟な物質の位置および運動状態を任意に制御することにより柔軟構造のロボットを形成することにある。このように本発明の柔軟構造機械システムをいわゆるロボットとみなした場合、エフェクターである導電体には駆動システム、動力源、センサー、情報処理システムが内蔵されておらず、これらすべての機能は「場」が有するという特徴をもつことになる。

【0006】このように本発明は次世代のロボットに求められる機械的柔軟性を備えたロボットシステムを提供するものであり、ロボットそのものを粒子または流体によって構成することにより、極めて構造的自由度の高い機械システムとして実現するものである。

【0007】本発明によるロボットの構成要素は、予め固定された機能を持つことなく、全体としての形状を変化させることによってその機能を実現させるものである。即ち、例えば水銀滴のような可塑性導電体から成る構成要素群を必要に応じて随意に移動、分裂、合体させることにより、環境に適応しつつロボットとしての目的の達成を可能とするものである。

【0008】本明細書においては、このようにセンサー、アクチュエータそして知的処理機構を持たない液体移動体を、知覚、知的学習、動力を完全に外的なメカニズムによって供給される「ロボット」と定義するものとする。これらすべての外部機構も、液体金属の物理的特性に起因しており、駆動力も液体金属内部に直接発生させうるものだからである。

【0009】また、本システムの様々な制御手法の可能性を高速に検証するためには計算機シミュレーションが

必要であり、本発明による液体金属ロボットを近似的に表現するために分子ポテンシャルシミュレーション法を採用することができる。また、液体金属ロボットを任意に制御するための電極エージェントの効果的な戦略獲得のためには、いわゆる進化的計算法を用いることができる。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の特徴は、図1に示す移動可能な液体金属体である液体ロボット2が、知覚機能、駆動機能、情報処理機能のいずれも有していないことにある。したがって、これらすべての機能は「場」4に埋蔵されることになる。本発明では、図2に示すように移動可能な液体金属移動体である例えば水銀滴5の動作する場として基板6を、そして磁場B8を生成する磁場生成手段(図示せず)を設け、磁場8中に複数の電極7を林立させる。そしてそれぞれの電極7の電位を独立可変に制御するための制御装置3を設ける。

【0011】水銀滴5が複数の電極7に接触すると接触した各電極間に電流Iが発生し、磁場8と電流との相互作用の結果として生ずるローレンツ力10によって水銀滴5はF方向に駆動される。すべての電極7の電位を適切にコントロールすることで、水銀滴5はローレンツ力により直接駆動され電極7間をすり抜けるように格子平面6上を自由に移動することが可能となる。

【0012】一方、「場」4、13上における移動体である水銀滴5の絶対位置は、水銀滴5によって電気的に接続された電極対の位置を観測することによって検知可能である。「場」4、13が包含する機能は、水銀滴5のセンシングや駆動だけではなく、知能機能および動力源供給機能も有するように構成される。磁場8中の電極7をエージェントと称すれば、液体金属移動体(水銀滴)5の挙動は、これら複数の電極エージェントの相互作用および意志決定によって制御されるといえる。

【0013】これを制御するためのシステムは、多数の電極の電位を独立に制御するためのスイッチング回路(図4参照)と、各電位を決定しスイッチング回路を制御する制御コンピュータ3、およびソフトウェアから成る。この制御システムは、導電体である液体金属移動体5への動力供給を行うと同時に、液体金属移動体に対する任意の駆動のためのアルゴリズムを有する。さらにこの制御システムは、動力供給と同時に、全電極間の通電状態を監視することで、可塑性導電体である液体金属移動体5の位置、形状、および運動状態の検出と制御を可能にする。

【0014】さらに本発明による液体ロボットシステム1は、液体金属移動体5を任意に直接的に駆動することで位置変更を可能とするのに加え、磁場8中のローレンツ力10を利用して可塑性導電体である液体金属移動体5自身の形状の変更、例えば変形、分裂、合体動作等を可能とするものである。また、液体金属移動体5が位置

する場の温度をこの移動体の融点付近で制御することにより、この液体金属移動体5の溶融、固着などの制御を可能とするものである。さらに、電流量を制御することにより、この導電体である液体金属移動体5の駆動速度や加速度などの運動状態を制御可能とする。

【0015】なお本発明において可塑性導電体5として利用できる材料は、水銀、低融点金属などの金属に限定されない。即ち、例えば導電性樹脂など固体状態(固相)と液体状態(液相)を有しさらに導電性を有するような材料全体を包含するものである。

【0016】このようなシステムによって、柔軟構造をもち、ロボットの形状に関して創発機能を持つようないわゆるアメーバロボットの構築が可能となる。

【0017】このように本発明においては、ロボットシステム実現のためのメカニズムの一手法として、液体金属例えば水銀を用いて、電磁流体力学的方法により、マルチエージェント型の移動ロボットアクチュエータを提供するものである。本発明による方法は、その形状の自由度の大きさなどから、先に述べたロボットシステムの様相、機能を最も端的に表現しうると考えられ、また、本発明の制御手法は具体的な実現可能性が高いものである。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係るMHD方式による形態創生機械のための可塑性導電体の駆動方法および制御システムを、添付の図面に基いて詳細に説明する。以下の説明は本発明に関する一実施例であり、本発明の一般的原理を理解することを目的とするものである。したがって、本発明をこの実施の形態に具体的に記載された構成および方法のみに限定するものではない。以下の詳細な説明および図面の記載において、同様の要素は同様の参照番号により表される。

【0019】図2は本発明に係る液体ロボットシステムの駆動フィールド14一実施の形態の基本構成を図示するものである。この液体ロボットシステム1においては、例えば液体ロボット2である水銀滴5がMHDによって駆動され、絶縁性基板である格子平面6の上に突き出た柱状の電極7の間をすり抜けるようにして任意に移動することができる。実際に上記のようなシステムを構築し、エフェクターである水銀滴5に任意の運動状態を与えるには、複数の電極7に所定の電位を与える必要がある。この水銀滴5の任意の位置への移動、または分裂、合体等に必要の電極の電位は計算機により決定することができる。

【0020】計算機シミュレーションを用いて、一つの水銀滴5を粒子の集合体としてモデル化し、電極7の電位の戦略適応のために例えばいわゆる遺伝的アルゴリズム(GA: genetic algorithm)を適用することにより、水銀滴5を目的の運動状態に制御することが可能となる。このようなシステムによって、柔軟構造をもち口

ポットの形状を任意に変更可能なアメーバロボットが形成可能となる。

【0021】図2に示すように、一定方向（基板6に垂直な方向）に均一な磁場8のかけられた「場」13上に、格子状に複数の電極柱7が配置されている。少なくとも2つの電極7間が導電性流体金属滴である液体金属移動体5で満たされると、電極間の電位差により液体金属移動体5に電流Iが流れ、磁場8とこの電流Iの外積方向にローレンツ力10が発生し、液体金属移動体5は駆動されて移動する。各電極間で電流を適切に制御することにより、液体金属移動体5を格子平面6上で自由に移動させることが可能となる。

【0022】この実施の形態では、それぞれの液体金属移動体5がひとつの移動ロボットとして取り扱われる。このシステムにおいて、例えば図1に示すような制御器3が電極7の電位レベルを決定する。すなわち、液体金属滴である液体金属移動体5が正の電位をもつ電極と負の電位の電極に同時に接触したとき、正電位の電極から負電位の電極へ電流が生ずることになる。この場合、制御器と動力源は液体金属移動体5自体ではなく、電極7の林立する駆動フィールド14に内蔵されているといえる。すなわち、知能、センサー、アクチュエータ、エネルギーをもたないロボットの代わりに、場13がロボットの制御に必要なすべての機能を有している。

【0023】さらに、3つ以上の電極端子に同時に接触する金属滴である液体金属移動体5に複数方向の力を発生させ、液体金属エージェン特である液体金属移動体5を分割、また合流させて一つの大きな液体金属エージェン特を生成するなど、物理的構造と挙動の観点から自由度の高いマルチロボットシステムを構築可能である。

【0024】流体金属滴である液体金属移動体5として、ここでは1.0g~2.0g程度の水銀滴を用いた。電極7としては、水銀と反応してアマルガムを形成しないために、炭素棒または、ステンレス鋼を使用するのが望ましい。電極7としては、例えば、3mmのSU304鋼を使用することができる。グリッド状に配置された電極7のうちの2つが、液体金属移動体5に電圧を印可し、ローレンツ力10を作用させるための電流9を供給する。

【0025】流体金属としては、水銀に限定されるものではなく、適切な環境条件の下で、例えば液相のナトリウム、リチウム、鉛、ビスマス、錫、ガリウム、およびNaK等を使用することが可能である。なお流体金属に限定するものではなく、表面張力によりその形状を保ち得る導電性の流体が使用可能である。

【0026】図3に駆動フィールド14の具体的な実施の態様を示す。この駆動フィールド14は、支持台12により支持された液体金属移動体（図示せず）が移動するアクリル基板15を有する。なお基板15はアクリル板に限定されるものではない。絶縁性基板であることを

必要とするが、例えば耐熱性を必要とする場合には石英、セラミック等を用いることができる。

【0027】基板15の上部平面11には、電極7をそこからおよそ3mm上部に突き出して、たて9×よこ9の合計81本を格子状に配置している。基板15に垂直な向きの磁場8（図2参照）が、この基板15の背面19に64個配置した5×5の希土類永久磁石（各0.35テスラ）（図示せず）によって作り出される。永久磁石に代えて電磁石を使用すれば、磁場の強さも制御可能となる。

【0028】液体金属移動体である水銀滴5の具体的な挙動は次のとおりである。電極7に電力が供給されないとき、水銀滴5は4つの電極7にはさまれる形で静止している。なお電極7は例えば正方格子状（図3(a)参照）に配置されているため、水銀滴5をホールドする各ポイントを以下格子点17という。水銀滴5を電流9が通るとき、磁場Bと電流Iの外積方向Fにローレンツ力10が発生し、水銀滴5は隣の格子点17に向けて移動する。現在接触している電極7に起因する力は、この電極7と水銀滴5の接触が離れた時点で消滅する。すなわち、本システムは離散的なグリッドワールドの制御として単純化することができる。

【0029】図4に、駆動フィールド14の制御のために、電極7（3つの電極のみが示されている）の電位を独立に制御するのスイッチ回路20の実施の形態を示す。このスイッチ回路20は、各電極7がその電位を+5Vの電源57と接地58の間で切り換えられるようにしたものである。このスイッチ回路20のスイッチ18としては例えば機械リレーを用いることができ、制御器21としては通常のマイクロコンピュータを用いることができる。なおこのスイッチ回路20は一例であって、かかる構成に限定されるものではないさらに、このこのスイッチ回路20においては、センサユニット22により電極格子内の通電状態を監視することにより、水銀滴5によって電極7間が接続されている位置を検知することができる。すなわち、図4は前述したロボットシステムにおけるセンサ機能を実現する実施の形態を示すものである。

【0030】次に図3に示した駆動フィールド14を用いて水銀液滴5を実際に駆動した場合の実験結果を示す。

【0031】図5は磁束密度と水銀の重量と必要な電流量との関係を示す。縦軸は電流(A)、横軸は永久磁石の磁束密度(テスラ; Tesla)である。磁場形成のため、複数の永久磁石を、水銀滴の乗る3mm厚のアクリル板により形成された基板15の背面19に配置した。隣の格子点17に水銀滴5が移動するためには、他のパラメータに応じた一定の電流量が必要となる。グラフは、より大きな磁場のときほど、同じ力を発生させるために小さな電流しか必要としないことを示している。

【0032】また、水銀滴5を駆動するための最低電流量（縦軸に示す）は、水銀滴5の重量が増加するにつれて増大し、サイズの大きな水銀滴5は駆動のためにより大きな電流を必要とする。

【0033】図6および図7は、水銀滴5の大きさを1.0g、1.5g、および2.0gと変化させた場合に、電流量を4~10Aと変化させた場合の、水銀滴5の平均速度（図6）と平均加速度（図7）を示す。図6および図7の結果は、格子空間中を水銀滴5を直線的に加速し、両端間を移動する状態を計測することで得られたものである。このための水銀滴5が移動する直線空間は、正の電位をもつ複数の電極列と、接地された複数の電極列とに挟まれた空間である。また、計測結果の各値は20試行の平均値を採ったものである。

【0034】図6および図7から明らかなように、電流量の増大につれ、速度、加速度ともに増加する。また、重量の大きな滴は速度も小さく、より大きな電流を要することもわかる。

【0035】図8は、1つの水銀滴23を複数の水銀滴に分割する場合を示す。かかる動作は、通常の固体のロボットには決して完全には付与されない機能であり、本発明に係る液体金属ロボットの特徴のひとつである。

【0036】図8においては、水銀滴23を保持する4つの電極24~27に、図8に示す所定の電位パターンを与えることによって、同時に2方向のMHD力が水銀滴に加えられるケースを示している。ここで、静止状態で水銀滴23が接触する4つの電極のうち、対角線上の2つの電極24、27の電位を正とし、他の2つの電極25、26を接地電位とする。このため、液体金属である水銀滴23内の図のような方向に電流28、28'、29、29'が発生し、相互に逆向きのローレンツ力F30、30'、31、31'が起こる。その結果、水銀滴23が左右2つに分裂することになる。

$$M_i = \{m, a_t, v_t\} \quad (1)$$

と定義する。ここで、mは粒子の質量、a、vはそれぞれその時点での加速度ベクトルと速度ベクトルである。また、各粒子に相互作用する力のポテンシャルを次の

$$= e \{ [a / ((a r)^{12} + 1)] - [b / ((b r)^6 + 1)] \} \quad (2)$$

ここで、eは力の強さ、a、bは粒子の大きさを表すパラ

$$E_j = \{ R_j, P_j \} \quad (3)$$

で表現される電極モデルは、粒子モデルへのエネルギー供給メカニズムであると同時に、障害物となることか

$$j = e E \{ 1 / ((r / R)^{18} + 1) \} \quad (4)$$

ここで、Rは、電極の半径、Pは電極電位をあらわす。粒子群は、接触する2つの電極間の電位差に対応した電流により発生するローレンツ力で駆動される。

【0045】ここで、液体金属移動体32である粒子群、すなわち水銀滴32の挙動は、フィールド35上に配置された電極34に与える電位のパターンにより決定

【0037】図9は水銀滴23の大きさと、各電流量から、液体金属の分裂の起こる頻度をそれぞれ20回の試行から導いた結果を示す。図9からわかるように、小さすぎる水銀滴は分裂が困難で、大きいものは容易であることから、分裂のための臨界のサイズが存在することがわかる。またパラメータ値を変えたかかかる実験により、水銀滴23を確実に分裂させるための条件を求めることができる。

【0038】次に、金属液滴を用いたロボットアクチュエータシステムのダイナミクスと、そのさまざまな制御を高速度に検証するための計算機シミュレーションについて述べる。このシミュレーション結果により、図2および図3に示すような構成を有する液体金属駆動システムにおいて、要求される金属液滴の任意の移動、分割等の制御が十分可能なことがわかる。

【0039】以下に述べるシミュレーションは、大規模エージェント群によるシステムの挙動を知るためのシミュレーションの1手法である。このため、このシミュレーションは流体中の流れや力の解析を目的とするものではない。このために分子シミュレーションを参考とした以下に述べる近似的なモデルを用いる。

【0040】このシミュレーションにおいては、液体金属移動体である流体金属滴32を多数の粒子33の集合体とみなす。粒子33間に作用するポテンシャルを形成することにより、集合体は全体としての結合を保ち表面張力を発生する。図10において電極34に接触する粒子には、各電極34が持つ電位と磁場41から算出されるローレンツ力40による加速度が生じ、粒子群全体の駆動力Fが発現される。

【0041】次に、ここで記述される、液体金属粒子モデルと、電極モデルについて定義する。

【0042】まず、粒子モデルを

ように近似する。

【0043】

ラメータであり、rは粒子からの距離を表す。また、

ら、以下に示されるポテンシャルを持つこととする。

【0044】

される。

【0046】粒子群モデルの制御シミュレーション移動体である粒子群モデル、即ち水銀滴の挙動は、フィールド上に配置された電極に与える電位パターンにより決定される。図11示すような各電極34（上部寄りの4つの高電位電極59と、その周囲の21この中電位電

極60)、磁場方向37の配置(紙面の裏から表の方向)の場合、水銀滴36の移動経路39は、シミュレーションによる計算の結果は矢印で示すように周回軌道となる。このように、本システムにおいては、液体金属移動体(水銀滴)36のインテリジェンスは水銀滴32そのものが持つのではなく、エネルギーを供給するフィールド35に持たせることとなる。

【0047】静的電位パターン戦略の獲得

図12に示すように、移動体36にある目的(出発点か

$$\text{fitness} = [\text{distance}(\text{start}, \text{goal}) - \text{distance}(\text{mercury}, \text{goal})] / [\text{distance}(\text{start}, \text{goal})]$$

$$\text{distance}(a, b) = [(a_x - b_x)^2 + (a_y - b_y)^2]^{1/2}$$

(5)

各電極の電位のパターンを表現型とするGAストリングの遺伝子型は、図12に示すように、各電極の電位を高電位(+5V)、低電位(-5V)、中性電位(0V)の3通りに限定する。この例では、格子状に配置された電極フィールド44の外周に相当する電極は常に中性電位とする。以下のGA操作においては、交叉率0.5、突然変異率0.02とし、ストリング数は20とした。

【0049】以上の設定に基づいて行った結果を図13~図16に示す。図14および図16は、最終世代において得られた表現型と、評価値の推移である。5×5、7×7、それぞれの電極フィールド空間において評価値はよい収束を示していることがわかる。

【0050】ただし、広いフィールドにおいては、安定した戦略が獲得できず、経路も複雑で長くなったため、収束した評価値は低くなっている。

【0051】局所ルールの獲得による目的達成

上記方法の採用により、電極電位パターンを静的に決定することで、移動体の目標点への画一的な経路生成が可能であることが確認された。しかしこの方法では、フィールドサイズやタスク変更などに、ルールの構造そのものを対応させなければならないという問題がある。

【0052】そこで以下に、粒子群の接触を電極エージェントが検知し、同時に周囲の電極との通信により、電極に対し上下左右のどの位置に粒子群が存在するかによって、自らの電位を決定するという戦略獲得について述べる。前述のように、導電性流体の電極への接触はこれを接触スイッチと見ることにより、検知可能である。同時に、周囲のどの電極と通電しているかを監視することにより、その位置も把握可能である。

【0053】従って、図17に示すように、自らと、ノイマン近傍(1点を中心に前後左右の近傍)にある電極との粒子群の接触パターンに対応した、電極電位決定戦略を遺伝子型に記述する。ここでは、全電極が同じ戦略に基づいて電極電位を決定することとする。すなわち、局所ルールに基づいた制御手法に基づいて、系全体にわたる挙動が獲得可能か否かが問題となる。

【0054】図13および図15に示す場合と同様に、

ら目標点への移動)を与え、これを達成する電極電位パターンを進化的に獲得する方法について説明する。この方法ではフィールド44内に出発点42と目標点43を設定し、この間を移動することを目的として電位パターンを決定する。進化プロセスは遺伝的アルゴリズム(GA genetic algorithm)をもって行い、評価関数を次のように与える。

【0048】

周囲の電極45を外壁に見立て零電位として、戦略の進化を観察した結果、図18、19に示すように、外壁の傍に設定された目標点46に対し、出発点47から壁伝いをすることで到達するという戦略が獲得され、評価は収束した。

【0055】以上の説明から明らかなように、所望の目標に対する液体金属の駆動のための複数電極の電位パターンは、適切なアルゴリズムを選択して計算することにより計算機により求めることができる。上記説明は液体金属の移動に関する場合であるが、例えば液体金属の分裂や合体に必要な電位パターンも適切なアルゴリズムにより決定することが可能である。

【0056】図20および21に他の実施の形態を示す。図20および図21に示す実施の形態では、電極柱7が格子平面6上に林立した、疑似離散型の格子状の液体金属ロボットフィールドについて述べたが、図20および21に示すような、電極柱が林立することのない、連続空間タイプとすることもできる。この実施の形態では、電極端子48がフィールド平面49から突き出しておらず、電極柱の上面50がフィールド平面49即ち絶縁基板の上部表面と同一平面上に並んでいる。この場合、電極48は液体金属移動体である液体金属51の移動によって障害物とならないため、配置上は同じ離散的な格子空間を移動しながらも、電位のパターンにしたがって連続的な挙動をする。これによって、いわゆるアメーバ様ロボット(Hiroshi YOKOI and Yukinori KAKAZU. Theories and Applications of Automatic Machines Based on the Vibrating Potential Method, Proc. of International Symposium on Distributed Autonomous Robotic System, pp.31-38, (1992))が可能となろう。

【0057】図22および23に、本発明に係る液体金属ロボットの導電性および構造的柔軟性を応用した、物理的自由度を有する電子回路の実施の形態を示す。例えば、進化ハードウェア(EHW)やFPGAのような手法をもちいて、論理回路の構造や結合状態を物理的に制御したり、セル上の多数の液体金属滴の物理的位置情報を用いて物理記憶素子などが構築できる。特に、液体金

属滴は入力情報に基づいてその位置を変化可能なため、情報記憶機能を有する。同時に、液体金属の物理的特性から、記憶情報はそのまま電子回路としての機能をもち直接的な利用も可能である。

【0058】図22は、その物理的構造の変化を可能とするFPGAに類似の実施の形態を示し、各論理素子52を結合する配線53の結合、切断を液体金属移動体である金属滴54により行い論理動作の変更を可能とするものである。

【0059】図23は、電極55により金属滴54の移動および保持を行い、金属滴54の位置を制御することにより、電気的物理的な情報保持と配線56による保持情報の読み出しを可能とする物理記憶デバイスへの応用例である。

【0060】液体金属デバイスはその形状自由度と、導電性から幅広い応用可能性を有しているといえる。

【0061】以上、本発明のいくつかの実施例について図示した説明したが、ここに記載された本発明の実施例は単なる一例であり、本発明の技術的範囲を逸脱せずに、種々の変形が可能であることは明らかである。

【0062】なお、本願発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で種々に変形することが可能である。更に、上記実施形態には種々の段階の発明が含まれており、開示される複数の構成要件における適宜な組み合わせにより種々の発明が抽出され得る。例えば実施形態に示される全構成要件から幾つかの構成要件が削除されても、発明が解決しようとする課題の欄で述べた課題の少なくとも1つが解決でき、発明の効果の欄で述べられている効果の少なくとも1つが得られる場合には、この構成要件が削除された効果が発明として抽出され得る。

【0063】

【発明の効果】以上述べたように、電極の配置された磁場中におかれた可塑性導電体は任意に移動、変形、分裂、合体を行うことができる。同時に、場の温度を導電体の融点付近で制御することにより、溶融、移動、変形し、その後固着させることも可能である。このための材質としては低融点合金などが使用される。また電流量を制御することで、導電体の駆動速度や加速度などの運動状態もコントロールできる。

【0064】即ち本発明によれば、液体金属等を適用することで、液体金属ロボットが構築できる。低融点合金等を構造材に用いることで、形状を任意に変化させることのできる剛性構造の機械を構築することもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】ロボットそれ自体は駆動システム、情報処理システム等を持たず、これらの機能は全て制御装置とこれに制御される「場」が有する、外的知能をもつロボットの概念図である。

【図2】本発明による液体ロボットシステムに係る金属

液滴の駆動原理を示す斜視図である。

【図3】本発明による電極フィールドの詳細を示す平面図(a)、および平面図(a)の線A-A'における断面図(b)である。

【図4】電極フィールドの制御システムにおけるスイッチ回路の一部を示す図面である。

【図5】磁束密度と水銀の重量と必要な電流量の平均値との関係を示す図面である。

【図6】水銀滴の大きさおよび水銀滴を流れる電流量を変化させた場合の、移動体の平均速度を示す図である。

【図7】水銀滴の大きさおよび水銀滴を流れる電流量を変化させた場合の、移動体の平均加速度を示す図である。

【図8】電極電位パターンによる、液体金属の分裂動作の概念を示す図である。

【図9】水銀滴の大きさと各電流量を変化させた場合の、液体金属の分裂が起こる頻度を示す図である。

【図10】流体金属滴を多数の粒子の集合体とみなした場合の動作に関するシミュレーション概念図である。

【図11】シミュレーション空間と粒子群の移動経路を示す概念図である。

【図12】移動体にある目的を与えこれを達成する電極電位パターンを進化的に獲得する方法における静的電位パターンの遺伝子型を示す図である。

【図13】5×5の静的電位パターンを示す図である。

【図14】図13に示す場合の評価値を示す図である。

【図15】7×7の静的電位パターンを示す図である。

【図16】図15に示す場合の評価値を示す図である。

【図17】局所ルールにより自らとノイマン近傍にある電極と粒子群の接触パターンに対応した電極電位決定戦略を遺伝子型として記述する場合を示す。

【図18】局所ルールによる実施の形態における5×5の静的電位パターンを示す図である。

【図19】図18に示す場合の評価値を示す図である。

【図20】電極柱が林立することのない連続空間タイプの実施の形態を示す断面図である。

【図21】図20の場合の電極および金属液滴の状態を示す斜視図である。

【図22】各論理素子を結合する配線の結合、切断を金属滴により行い、論理動作の変更を可能とする実施の形態を示す図である。

【図23】物理記憶デバイスへ応用した実施の形態を示す図である。

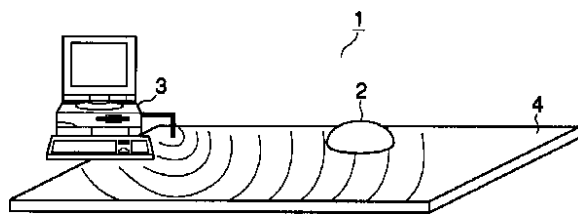
【符号の説明】

- 1...液体ロボットシステム
- 2...液体ロボット
- 3...制御装置
- 4...場
- 5...液体金属移動体(水銀滴)
- 6...格子平面、基板

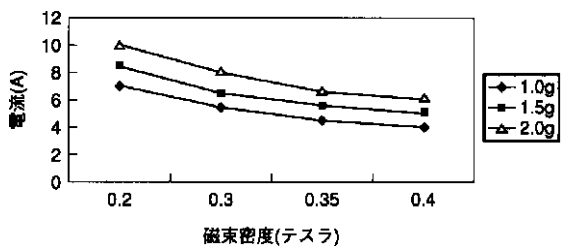
- 7...電極
- 8...磁場
- 9...電流
- 10...ローレンツカ
- 11...上部平面
- 12...支持台
- 13...場
- 14...駆動フィールド
- 15...基板
- 16...平面裏側
- 17...格子点
- 18...スイッチ
- 19...背面
- 20...スイッチ回路
- 21...制御器
- 22...センサユニット
- 23...水銀滴
- 24、25、26、27...電極
- 28、28'、29、29'...電流
- 30、31...ローレンツカ
- 32...液体金属滴
- 33...粒子
- 34...ローレンツカ
- 35...フィールド
- 36...水銀滴、液体金属移動体

- 37...磁場方向
- 38...電流方向
- 39...移動経路
- 40...ローレンツカ
- 41...磁場
- 42...出発点
- 43...目標点
- 44...フィールド
- 45...電極
- 46...目標点
- 47...出発点
- 48...電極端子
- 49...フィールド平面
- 50...上面
- 51...液体金属
- 52...論理素子
- 53...配線
- 54...金属滴
- 55...電極
- 56...配線
- 57...電源
- 58...接地
- 59...高電位電極
- 60...中電位電極

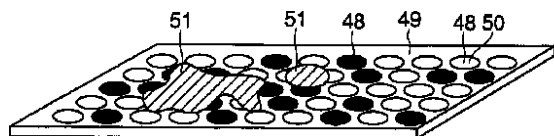
【図1】



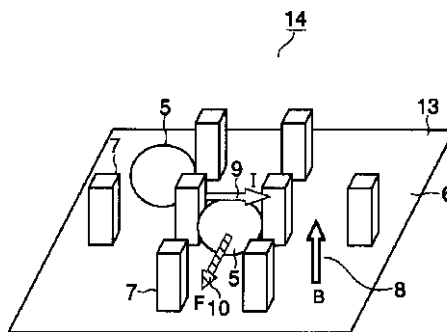
【図5】



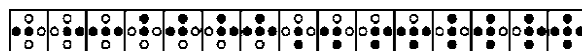
【図21】



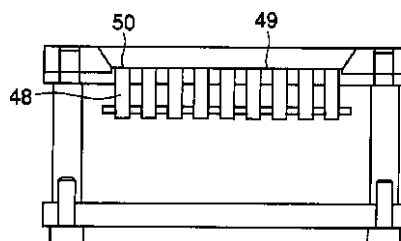
【図2】



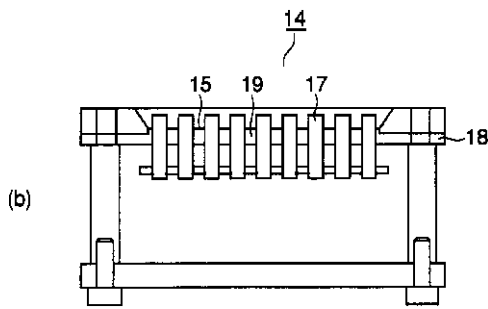
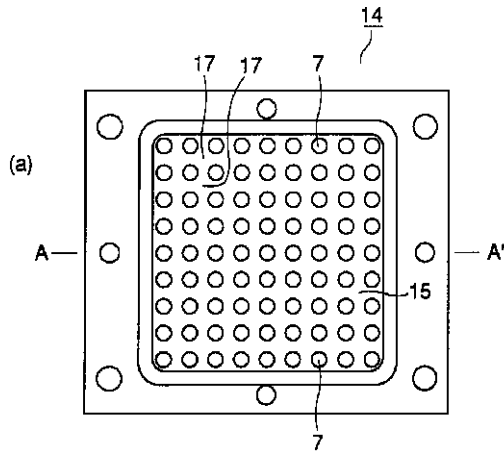
【図17】



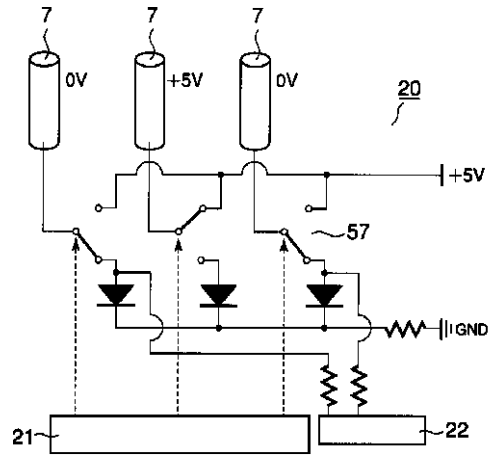
【図20】



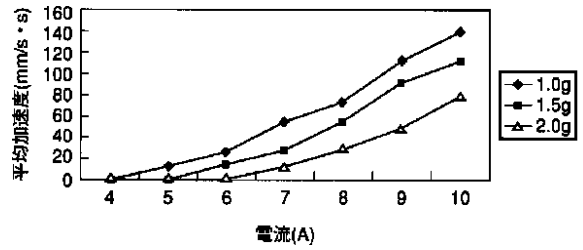
【図3】



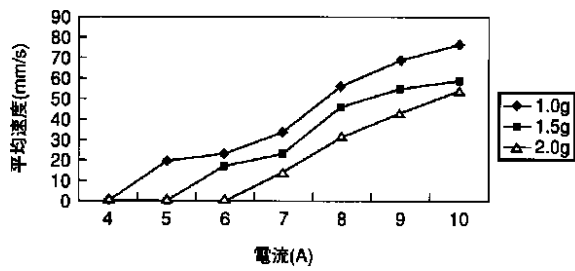
【図4】



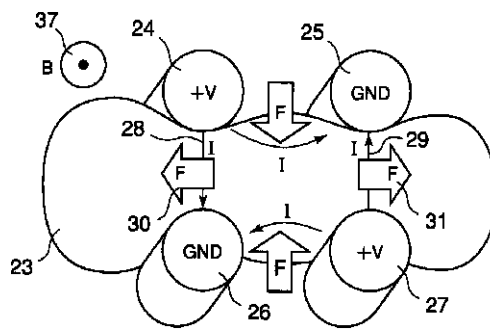
【図7】



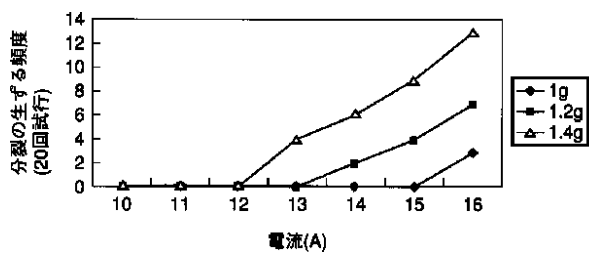
【図6】



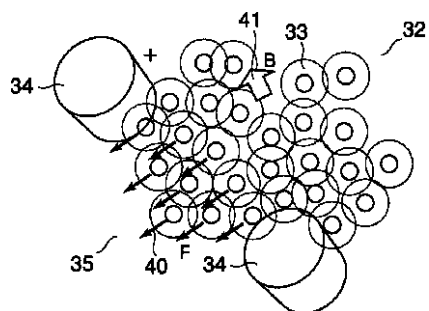
【図8】



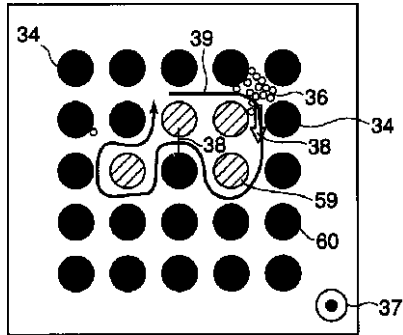
【図9】



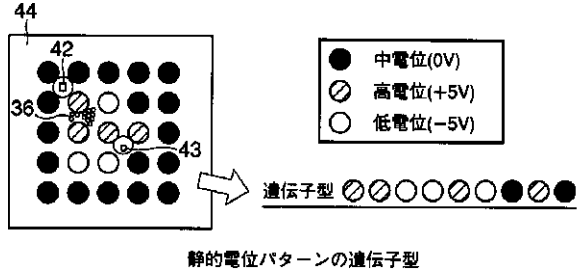
【図10】



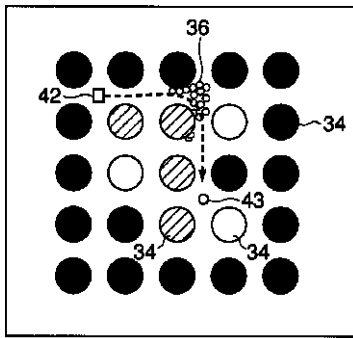
【図11】



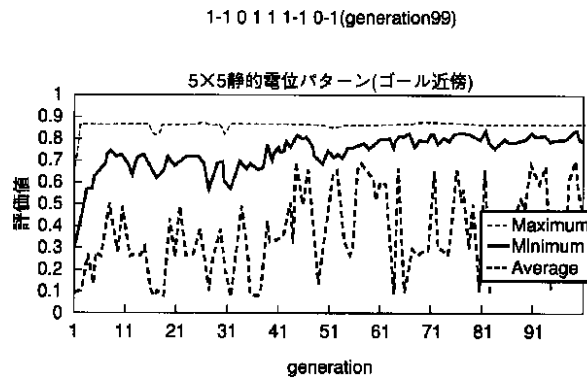
【図12】



【図13】



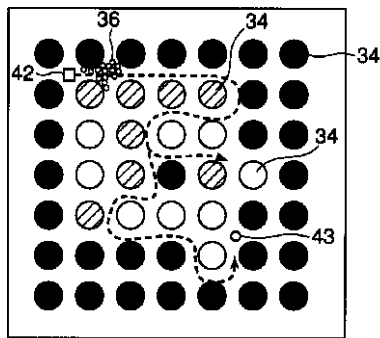
【図14】



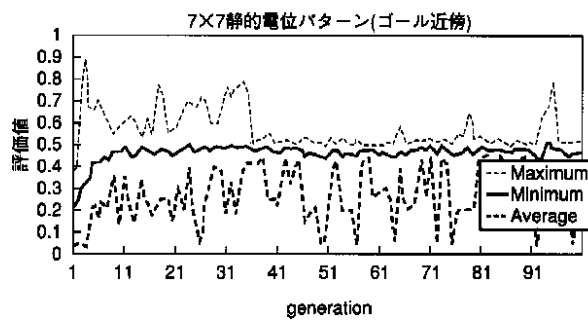
5x5静的電位パターン

【図15】

【図16】



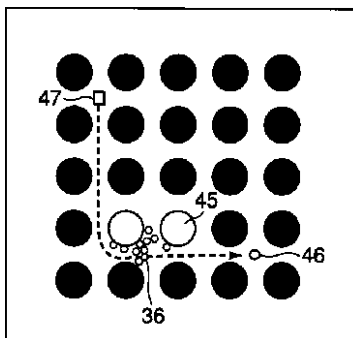
1-1-110111-101-10-101-1-100-100 (generation99)



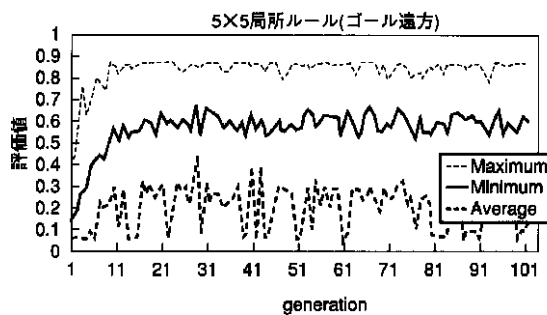
7x7静的電位パターン

【図18】

【図19】

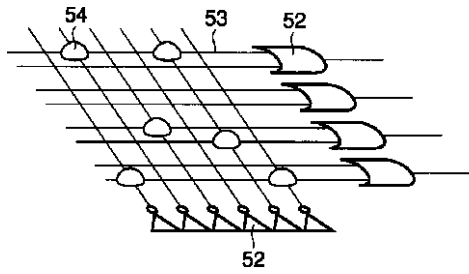


100-1-1-11-1-1-1-10-1-1-1 (generation99)

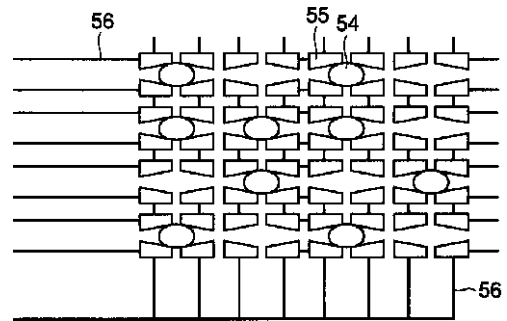


5x5局所ルールフィールド

【図22】



【図23】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.7, DB名)

B81B 1/00 - 7/04

B81C 1/00 - 5/00

F04B 17/04