

Abstract

近年，高分子ゲル膜を金メッキして，両面に電位差を与えることによって屈曲する素材が開発された．これはIPMC(Ionic Polymer Metal Composite)やICPF(Ionic Conductive Polymer Film)と呼ばれ，人工筋肉としての応用が期待されている．本研究ではこれを人工筋肉と呼ぶ．

人工筋肉は，低電圧かつ水中で駆動し作動音がない，応答が高速で耐久性があり柔軟である，簡単に小型化できるなどの特徴を持つ．パッケージして乾燥を防ぐことによって空気中でも動作するが，本研究では水中での応用を目的とする．現在はまだ応用例が少なく，システム化による応用研究が期待されている．

一方，ロボットの制御方法として生物を模倣する手法が注目されている．帯状の物体が蛇行運動を行うとき，体に送る波の方向を前後に切り替えることによって，推進方向を素早く容易に前後に切り替えられる．これはその他の遊泳方法にはない特徴である．以上のことから，本研究ではヘビのように屈曲運動することによって水中で前後左右に泳ぎを制御できるロボットの開発を目指した．

帯状にした人工筋肉の両面に電位差を与えると，陽極側に屈曲するだけである．そこで人工筋肉で複雑な屈曲運動を実現するために，パターンニングを採用した．これは人工筋肉の表面にある金面を絶縁してセグメント化することである．これによってセグメントごとに独立した屈曲運動が実現でき，より自由な屈曲運動をさせることができる．

本研究では帯状の人工筋肉をパターンニングして以下の実験を行った．まず3領域にパターンニングし，各領域をどのように制御すればヘビ型屈曲運動を実現できるのかを調査した．そして，入力電圧として正弦波を用いて，領域ごとに正弦波の位相を $60[\text{deg}]$ ずつずらして進行波にすることで，1枚の人工筋肉だけでヘビ型屈曲運動を実現した．最適な推進運動を得るための入力条件は，前進のとき周波数 $8[\text{Hz}]$ ，位相差 $90[\text{deg}]$ で最大速度 $1.1[\text{mm/s}]$ ，後進のとき周波数 $8[\text{Hz}]$ ，位相差 $-60[\text{deg}]$ で最大速度 $-1.85[\text{mm/s}]$ となった．

これらの結果から，推進方向を前後に切り替える運動を実現したといえる．最適な位相差が前後で異なる理由は，素材が安定しておらず，得られる屈曲運動に偏りがあったためであると考えられる．

次に7領域にパターンニングし，推進速度の向上を図った．また，左右旋回運動の実現についても試みた．その結果，最大推進速度を3.7[mm/s]に向上させることができた．これは，人工筋肉の領域数を増やすことによって，人工筋肉が形成する進行波の波長が長くなったためであると考えられる．また，入力波形として正弦波の単調増加部分と単調減少部分の時間比をパラメータとした波形を用いて，領域ごとに位相差60[deg]ずつずらし，偏りのある進行波を体に送った．これによって左右に切り替え可能な旋回運動を実現した．最適な旋回運動を得るための入力条件は，右旋回するとき周波数2[Hz]，時間比0.053で最大旋回速度1.9[deg/s]，左旋回するとき周波数2[Hz]，時間比4で最大旋回速度1.45[deg/s]となった．左旋回の値と右旋回の値の逆数を比べると，時間比が大きく異なる．よってより最適な解が $0.053 < \frac{T_1}{T_2} < 0.25$ および $4 < \frac{T_1}{T_2} < 19.048$ の間に存在する可能性がある．以上の結果，前後左右に移動が制御できるため，2次元平面内を自由に移動制御できる水中推進機構を実現したといえる．

また，屈曲運動時の変位と推進力の関係式を導出し，屈曲運動によって生じる推進力を力学的に解析し，前後推進運動や左右旋回運動するときどのような力を生じているか調べた．

Abstract

Ionic polymer metal composites (IPMC) are composite materials, which consist of ionic polymer plated with noble metal electrodes. This actuator is also called as ionic conductive polymer film (ICPF) and is called an IPMC in this paper.

It bends toward cathodes by applying low voltage between the electrodes on both sides. The IPMC has features such as softness, compactness, working in water, no operation sound, quick response and long-life compared with electric motors. It can work in the air by covering with water. But this paper aims applications in water of the artificial muscle, on which few researches have been done so far.

On the other hand, it generally is well known that propulsion motions of creatures are very efficient. A snake-like motion is one of the creature motions. It sweeps a smaller area than a simple bending motion and can switch a swimming direction quickly. The other methods cannot switch a swimming direction rapidly. The goal is to realize a snake-like robot by using the IPMC, which swims forward and backward with the snake-like bending motion and also turns left and right.

One IPMC has a single degree of freedom, and its form depends uniquely on a value of input. To realize a snake-like bending motion, we cut the surface of the IPMC by laser or chisel and made insulated patterns on it. By applying different voltage to each segment, we can control each motion individually.

In the first experiment, we segmented the surface of the IPMC into three components. We investigated how to control the IPMC for realizing a snake-like motion. As a result, we found the optimal control condition: an input waveform was sinusoidal, a phase delay θ between neighboring segments was 60[deg.]. The maximum forward speed of it was 1.1[mm/s]

when frequency $f = 8[\text{Hz}]$ and $\theta = 90[\text{deg.}]$. Also the maximum backward speed of it was $-1.85[\text{mm/s}]$ when frequency $f = 8[\text{Hz}]$ and $\theta = -60[\text{deg.}]$. We can control a swimming direction of the robot. There are different values of the optimal θ between two conditions. We consider that the IPMC is not stable to realize ideal reactions.

Next, we segmented into seven components in order to improve a propulsion speed and to realize left and right turns. As a result, we obtained the improved maximum propulsion speed of $3.7[\text{mm/s}]$. We consider that the seven segmented IPMC can generate progressive wave with longer wave length than the three segmented one. In order to make the IPMC turn left and right, we change a duration ratio ($\frac{T_1}{T_2}$) between the monotonously increasing part T_1 and decreasing part T_2 of the input voltage supplied to each segment. By applying this input wave with $f = 2[\text{Hz}]$ and a phase shift $\theta = 60[\text{deg.}]$, the IPMC turned left and right. As a result, we succeeded in realizing right/left turn: for right turn, the maximum angular speed of $1.9[\text{deg./s}]$ when the time ratio $\frac{T_1}{T_2} = 0.053$ and for left turn, $1.45[\text{deg./s}]$ when $\frac{T_1}{T_2} = 4$. Considering that there is a much difference between the optimal ratio of right turn and the inverse of that for left turn, it is possibly expected that a better ratio lies between these. Thus, we realized a swimming robot which can swim forward and backward and can also turn left and right.

Finally, we modeled a relation between a bending displacement and a propulsion force. Using the model, we investigated how much forces are generated in forward/backward motion and right/left turn.