

可塑化 PVC ゲルアクチュエータ製造のための印刷技術を適用した ゲル薄膜形成自動化技術の開発

Development of automation technology for fabricating thin film PVC gel used in
multilayered PVC gel actuator based on a digital printing technology

○正 古瀬 あゆみ (信州大) 正 橋本 稔 (信州大)

Ayumi FURUSE, Shinshu University, ayumi-sakaguchi@shinshu-u. ac. jp
Minoru HASHIMOTO, Shinshu University

Plasticized poly vinyl chloride (PVC) gel which has a large deformation by applying a voltage and high driving stability in the atmosphere is considered as a promising material for a soft actuator. To fabricate a more flexible and high performance multilayered PVC gel actuator, in this study, we attempt to develop automation technology for fabricating thin film PVC gel used in multilayered PVC gel actuator based on digital 3D printing technology. We proposed automation system and examined to adjust amount of coating by control the condition of coating. Under the condition of 0.06 mg/shot of the amount of coated gel per shot, the average dot diameter of the point coated gel was about 0.86 mm and the height was about 8 μm . It was expected that a gel thin film of about several μm can be automatically produced in an arbitrary shape by using the proposed system.

Key Words: plasticized PVC gel, soft actuator, automatic coating system, digital 3D printing technology

1. はじめに

高分子材料を用いたソフトアクチュエータは人間の生体筋のように柔軟で形状の制約を受けにくく小型軽量化をしやすい、エネルギー効率が高いという利点を持つため、数多くの研究がされている。その中でも可塑化ポリ塩化ビニル (PVC) ゲルは電場印加により大気中で安定的に良好な応答性で大変形することが知られ、ソフトアクチュエータに適用するのに非常に有望な材料である [1]。これまでに当研究室では、その変形挙動を考慮し、陽極に金属メッシュを、陰極に金属箔を用いた各電極で可塑化 PVC ゲルを挟んだ積層型ソフトアクチュエータを開発した [2]。さらに、小型・軽量化と性能向上を目指し、電極材料が柔軟性を有するものを用いた積層型アクチュエータの開発を行ってきた [3]。この柔軟性電極積層型アクチュエータは従来の金属製電極を用いた積層型アクチュエータに比べ、変位量は現状少ないが、軽量になるだけでなく、同等歪みでの発生力は 2 倍程度有ることが示唆された。そこで、より大きな収縮率を得ることを考えた場合、その性能向上のための指針としては、ゲルの薄膜化 [4] と積層数の増加が挙げられる。しかし、現状アクチュエータ作製工程はすべて手作業で、薄膜ゲルを切出して電極と積層させている。現在は数 100 μm のゲルを用いているが、より薄膜化した膜の取扱いは非常に困難で、さらにそのゲル膜を複数積層させるのは人の手作業では現状実現出来ていない。

そこで本研究では、柔軟電極を用いた積層型 PVC ゲルアクチュエータの作製自動化によりその課題を解決することを考え、その作製手法として、デジタル 3D 印刷技術に着目した。ゲル液を充填した塗布ヘッドを搭載したデジタル 3D 塗布システムで、薄膜積層型 PVC ゲルアクチュエータの作製を検討した。本発表では、その自動化プロセスの提案と、塗布ヘッドでの塗布可能性および塗布量調整の条件検討を行った。

2. 積層型可塑化 PVC ゲルアクチュエータの構造と駆動原理

可塑化 PVC ゲルは剛体の板電極間に挟んで電圧を印加した

場合、図 1(a) の様に陽極表面に凝集するように変形が生じる。電圧を除去すると、ゲルの弾性で元の状態に戻る。柔軟電極を用いた場合、図 1(b) に示すように、陽極表面を広げるように変形し、積層方向に収縮するアクチュエータとなる。

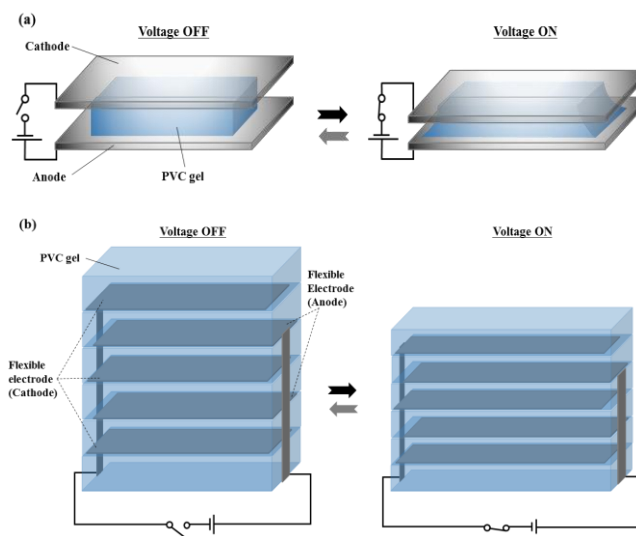


Fig. 1 (a) Deformation of plasticized PVC gel due to applied a voltage with rigid electrode. (b) Structure and deformation mechanism of a multilayered PVC gel actuator with flexible electrode.

3. 薄膜ゲル作製・積層自動化手法

提案する塗布システムの概略図を図 2(a) に示す。本システムにはゲル液および電極用の液が充填可能な塗布ヘッドを搭載し、それを 3 軸駆動ステージに取り付ける。塗布ヘッドにはピエゾ駆動式の塗布ヘッドを用いる。塗布プロセスは図 2(b) に示すような手順で 1 層ごとゲル膜を作製し、重ねていく。まず第 1 層目に電極配線部とゲル膜を塗布したのち、乾燥させ成膜する。その次に電極用の液を塗布する。この繰り返してアクチュエータが完成する。電極用液の塗布の際には、陽極、

陰極が交互になるように、配線部の接続位置を考慮して塗布する。本提案の手法であれば、図 1(b)の構成を作製可能である。また、ゲルの膜厚は、塗布ヘッドのピエゾへの出力条件やゲル液の調製条件を変えるだけで調整が可能である。本塗布システムを用いれば、ゲル膜作製から積層までが 1 台で完了できる。また材料ロスも少なくより効率的に作製が可能となり得る。

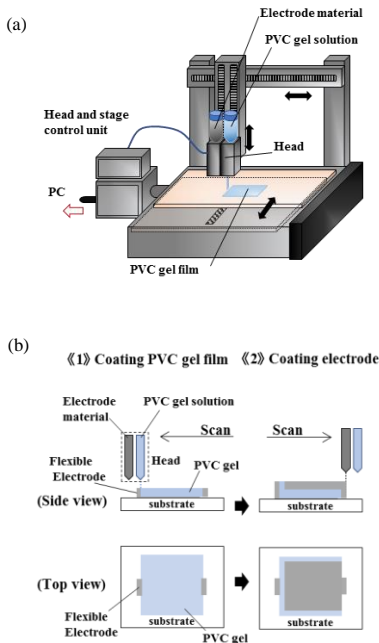


Fig. 2 (a) Schematic view of the proposed coating system.
(b) Fabrication process of multilayered PVC gel actuator using proposed system.

4. ゲル液塗布条件検討

本提案の構成でゲル液の塗布可能性およびどの程度の塗布量が調整可能かを検討した。

4.1 ゲル液の調製

可塑化 PVC ゲルは、ポリ塩化ビニル(PVC)と可塑剤のアジピン酸ジブチル(DBA)を溶媒のテトラヒドロフラン(THF)に溶解させて調製した。可塑化 PVC ゲルの剛性は PVC と DBA の比率によって変化するが、今回は PVC と DBA の重量比を 1:4 で調製した。

4.2 塗布可能性確認

ゲル液を塗布ヘッドに充填し、ピエゾヘッドへの電圧出力条件を変えて、塗布の状態を確認し、点で塗布した際のゲルのドット径およびその高さを計測した。

電圧出力条件を出力ゲイン 80%、パルスの立ち上がり、立下り時間を各 100 μ s、パルス幅 5 ~ 25 ms の間で変化させて塗布を行った。どの条件でもゲル液は吐出でき、その際ドット径はパルス幅が長くなると増加傾向がみられたが、明確な差異がみられるほどではなかった。また高さに関しては、パルス幅が長いほど高くなる傾向であった。これは、パルス幅の増長とともにともに 1shot 当たりの電圧印加における塗布量が增大したためである。パルス幅 5 ms で最小値をとり、平均ドット径 0.86 mm、高さは平均 8 μ m であった。この条件での 1 shot 当たりのゲルの塗布量を重量変化から算出すると、0.06 mg/shot であった。

4.3 出力条件と塗布量の関係

上記で塗布可能性が確認できたが、より微量量を精密に塗布できれば、より薄膜ゲルを高精度に行える。そこで、さらに塗布ヘッドへの出力ゲインとパルス幅と塗布量の関係を、パルスの立ち上がり、立下り時間を 500 μ s に調整し、各条件での塗布量を確認した。

各パルス幅で塗布した際の塗布量と出力ゲインとの関係を図 3 に示す。塗布量は出力ゲインおよび、パルス幅増加に伴い増加傾向であった。最小で 0.01 mg/shot で塗布が可能であることがわかった。また、点塗布の結果で、塗布量 0.06 mg で高さは約 8 μ m であった。このことから試算すると、約 1-2 μ m のゲル膜の作製が期待できる。

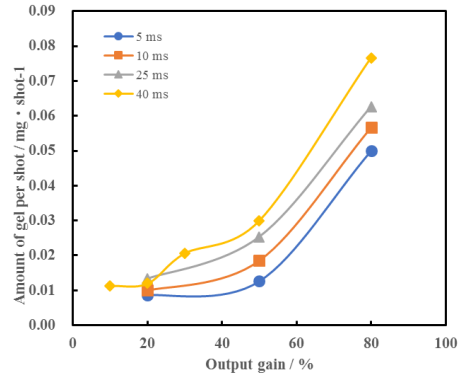


Fig. 3 Relationship of output gain and amount of gel per shot at each pulse width (circle; 5 ms, square; 10 ms, triangle; 25 ms, diamond; 40 ms).

5. まとめ

本研究では、可塑化 PVC ゲルの軽量、柔軟化および高性能化を目指し、柔軟電極を用いた積層型可塑化 PVC ゲルアクチュエータの作製自動化システムと塗布プロセスを提案した。また本システムで PVC ゲル液の塗布状態を確認し、約数 μ m の厚みのゲルが作製可能になることを示した。今後はヘッドの出力と位置制御を同期し、パターンニングした薄膜ゲルの作製を試みる。さらに電極用液を組込み、柔軟電極を用いた積層型アクチュエータを完成させる。

謝辞

本研究は、日本学術振興会 (JSPS) 科研費 JP16H06839 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Uddin, M. Z., Yamaguchi, M., Watanabe, M., Shirai, H., and Hirai, T., "Electrically Induced Creeping and Bending Deformation of Plasticized Poly(vinyl chloride)," *Chemistry Letters*, 4, pp. 360-361, 2001.
- [2] Yamano, M., Ogawa, N., Hashimoto, M., Takasaki, M., and Hirai, T., "Structure and Characterization of a Contraction Type PVC Gel Actuator," *Journal of the Robotics Society of Japan*, 27(7), pp. 718-724, 2009.
- [3] Li, Y., Suzuki, A., and Hashimoto, M., "Flexible Electrodes Based Multilayered PVC Gel Actuator and Its Characterization," *Proceedings of Mechanical Engineering Congress, 2016 Japan (MECJ-16)*, Kyusyu, 2016, S1510106.
- [4] Yokotsuka, R., and Hashimoto, M., "Development of low driving voltage actuator using thin PVC gels," *Proceedings of 2016 JMSE Conference on Robotics and Mechatronics*, Yokohama, 2016, 2A2-11b1.