

生体電気スキンパッチのための柔軟多孔質マイクロニードルアレイ

Flexible Porous Microneedle Array for Bioelectric Skin Patch

東北大工¹, 東北大医工², ジョージア工科大生物工³

○鳥取聡一郎¹, 松浦未来², 一瀬彩榮², Haechang Cho¹,

Tarryn Galloway³, 森山夏帆², 西澤松彦^{1,2}

Tohoku Univ. Dept. Finemech.¹, Tohoku Univ. Dept. BMEng.², Georgia Tech. Dept. BMEng.³

°Soichiro Tottori¹, Mirai Matsuura², Sae Ichinose¹, Haechang Cho¹,

Tarryn Galloway³, Natsuho Moriyama², and Matsuhiko Nishizawa^{1,2}

E-mail: soichiro.tottori.e2@tohoku.ac.jp

スキンパッチは、ウェアラブルデバイスとして、医療分野での生体情報のモニタリングや経皮薬物送達といった応用により注目を集めている。その中でも、経皮直流電流を生成する電気スキンパッチは、創傷治癒、防汗、薬物送達などの用途で広く研究されている。生体への安全性や柔軟性を持たせるため、電源として有力な候補として柔軟な酵素電池が研究されている。酵素電池は糖の酸化反応と空気中の酸素の還元反応によって駆動する電池であるが、比較的出力が低いという課題もある。特に経皮型生体電気パッチへ応用では、皮膚の最外層である角質層の高い抵抗値（約 $M\Omega$ ）が問題となる。一般的に、皮膚抵抗を低減するための様々な化学的および物理的方法の中で、血管や神経に到達することなく角質層を貫通できるマイクロニードル（通常は 1 mm 未満の長さ）の使用は、その簡便性と低侵襲性により注目されている。特に、針構造全体にマイクロ/ナノチャネル構造を有する固体多孔質マイクロニードル（PMN）は、溶液透過性が高く、経皮イオントフォレシス薬物送達および組織間液の収集のための経路として機能する。さらに、PMN を帯電分子で機能化することにより、電気浸透流が生成され、薬物の電荷やサイズに関係なく、薬物の皮膚への浸透が大きく向上する。しかし、これまでの硬いマイクロニードル基板は、指のような比較的高い曲率を持つ表面や、肘のように伸縮する部分に適合することができないという課題があった。このような不均一な適用は、皮膚へのへこみ、痛み、またはマイクロニードルの破損を引き起こす可能性があり、デバイスの医療効果を低減させる原因となる。故に、柔軟な多孔質マイクロニードルアレイの開発は、生体電気スキンパッチの安定した高い効果を達成するために不可欠である。

そこで、本研究では、ポリジメチルシロキサンシートを使用して、不均一な皮膚表面に適用可能な PMN 搭載型柔軟電気スキンパッチを開発した。バックエンド部分が非多孔質基板で覆われていないため、PMN を介して皮膚にイオン電流を流すことが可能であり、この柔軟パッチを適用すると、平面と曲面共に経皮抵抗が 1 桁以上低下した。酵素電池と柔軟な PMN アレイを統合し、安定した経皮電流生成を実証した。今後は、温度、pH、酸素濃度を始めとした実環境での性能を調査し、様々な医療デバイスとして応用していく。