

【目的】細胞の機能を評価するうえで、その接着力や牽引力は重要な指標のひとつとなる。細胞の力の計測には、原子間力顕微鏡や蛍光共鳴エネルギー移動 (FRET)、マイクロピラープレートなどが利用されているが、3 次元的な力の向きと大きさを把握するのは難しい。一方、我々は感圧層の電気抵抗変化を利用したフィルム型力覚センサの開発を行っている。電極の配置を工夫することで感圧部表面に作用する 3 次元的な力を検出できる。これまでに本センサ技術を細胞と培養皿表面間に作用する接着力分布のモニタリングに応用するため、電極と感圧層を導電ペーストで接着することで引張力を計測可能とし、細胞接着力のような微弱な引張力も検出できる可能性を示した。本研究では、密着方法の改良を行った後に多点センサを作製し、粘着ゲルの引き剥がしによって接着力分布のモニタリングを行った。

【方法】フォトリソグラフィとウェットエッチングによってパタニングした 2 枚の銅ポリイミド積層フィルムで導電ゴムを挟むことで、圧力センサシートを作製した。感圧部の周辺に接着剤を塗布し、接合時に圧縮力を与えることで、電極と感圧層を密着させた。測定部に圧力が作用すると導電ゴムが変形し電気抵抗値が変化するが、電子回路により抵抗変化を電圧信号変化へと変換し、センサインターフェイスにより記録した。引張・圧縮試験機を用いてフィルム型センサに圧力を印加した際の電圧信号の変化を調べた。また、センサ上で粘着性ゲルの押当てと引き剥がし動作を繰り返し、センサ信号の変化を捉えた。細胞評価に向けて、透明素材によってセンサを作製した。また、多点 2 軸力センサシートを細胞培養皿に貼り付けた。

【結果】センサの電極と感圧層をあらかじめ密着させておくことにより、引張力が検出できた。1 kPa 以下の力も検出でき、細胞と培養皿間に作用する微弱な接着力の評価が可能だと考えられた。また、粘着性ゲルの押し当てと引き剥がしに合わせて圧縮力と引張力が検出された。10 Hz 以上のサンプリングが可能であることが確認できた。多点化も可能で、センサシートを押した位置と力や粘着ゲルを引き剥がした際の剥離点やその引張力の大きさを評価できた。酸化インジウムスズ (ITO) を成膜しフォトリソグラフィによりパタニングしたところ、透明電極が作製できた。感圧層にはポリチオフェン系導電性高分子を用いることで、ほぼ透明なセンサ構造を作製することができた。また、細胞培養ディッシュに貼り付けるセンサシートを作製した。培養平面に対する垂直方向と半径方向の 2 軸の力が検出でき、細胞とディッシュ間に作用する接着力や細胞同士の凝集力の把握に有用だと考えられる。

センサ特性と細胞培養皿への貼り付け

