

細胞・分子操作研究委員会

1. はじめに

本委員会は、静電気学の知見を応用し、細胞や生体微粒子、分子レベルでの操作技術の研究開発を推進している。静電気学会は、ナノテクノロジーという概念が普及する以前から、先見性を持ち、生体分子の操作・解析に取り組んできた。これは、静電界が原子から宇宙規模まで作用するため、他分野に比べて先入観なく創造的な発想が促進されたことに起因する。その結果、国内外に先駆けた研究基盤が構築され、今後もさらなる発展が期待されている。本報告では、簡単にその歴史を振り返りつつ、現在の主要テーマの一部を概説する。

2. 細胞操作技術

細胞操作技術では、誘電泳動、静電配向、変形、回転、パールチェーン形成などの電気力学的効果を利用している。これらの技術により、細胞融合、遺伝子導入、静電分離、静電クロマトグラフィー、静電回転による生死判別、電気殺菌など、様々な応用技術が実現されている。特に、がん細胞や循環腫瘍細胞（CTC）の分離は、医療や臨床分野での実用化に近づいている。また、セルソーターやレーザー光圧を用いた光圧ソーターなど、新たな細胞分離技術も開発されている。

3. マイクロ・ナノ流体デバイスとの融合

マイクロ・ナノ空間を提供するマイクロ流体チップの利用も、細胞操作・分離技術の発展に大きく寄与している。微細加工した電極とチップを組み合わせることで、誘電泳動力などを効率的に作用させた分析・分離が可能となっている。また、マイクロ流体チップ内の層流を利用することで、分離後の細胞の取り扱いや分取も容易になっている。また、電界・流体・微細構造・細胞粒子を組み合わせたダイナミックな動きを表現する数値シミュレーションも、有力な研究手法として確立されている。

4. 1分子操作技術

分子操作技術の分野では、1分子のDNAをリアルタイムでイメージングし、操作・解析する手法により先端研究を行っている。蛍光顕微鏡を用いることで、光学顕微鏡の分解能を超えた観察が可能となり、水溶液環境下でのリアルタイム操作・解析も実現している。これらの技術を基盤として、1分子レベルでのレーザー切断、酵素消化、モレキュラーサージェリー、制限酵素マッピング、1分子分取などの新規手法が次々と開発されている。

5. 細菌・ウイルス等検出技術への展開

誘電泳動（Dielectrophoresis, DEP）は、外部電界によって分極した誘電体粒子に作用する静電気力を利用した動電現象である。交流電界を用いることで、水の電気分解を抑制しつつ生体物質を操作できる特徴を持つ。また、細胞の誘電特性の周波数依存性を利用した分離同定にも応用可能である。この技術を応用し、誘電泳動と電気インピーダンス計測を組み合わせた新しい微生物検出法が開発されている。この方法では、誘電泳動により細菌やウイルスをマイクロ電極上で濃縮し、電極間インピーダンスの変化から微生物濃度を定量的に推定する。従来の培養法に比べ簡便かつ迅速であり、菌活性や菌種による選択的検出も可能である。現在、食品衛生管理や口腔衛生管理、医療診断などへの応用に向けた研究が進められている。

6. 放電プラズマ技術と生物学的メカニズム解明

放電プラズマを用いた殺菌技術とそのメカニズムの解明も本委員会の重要な研究テーマである。放電プラズマ殺菌は高い殺菌効果を有し、薬品の併用を必要としないクリーンな方法である。殺菌メカニズムとしては、細胞壁の破壊や細胞質の変性、活性酸素種やオゾンによる酸化、紫外線によるDNA損傷などが考えられている。現在、生化学的・分子生物学的手法を用いて、これらの殺菌要因がどの程度影響を与えているか解明を進めている。

また、大気圧低温プラズマに対する細胞応答の解析にも取り組んでいる。生体や生物組織に直接照射可能な大気圧低温プラズマの生成技術が開発され、滅菌・殺菌やがん細胞のアポトーシス誘導に効果があるという報告がある。本委員会では、プラズマ照射が生体高分子や細胞に与える影響を定量的に評価し、特にヒト由来の培養細胞株の細胞応答を詳細に解析している。

7. おわりに

今後の展望として、「マイクロからナノへ」の移行がさらに進み、産業技術や医療技術の中心になると予想される。その実現のためには、静電気とナノ微粒子・ナノ空間（ナノ微細加工）・医療の融合が重要かつ可能性の高い方向性であると考えている。

本委員会は、これらの技術開発と応用研究を通じて、静電気学の新たな可能性を切り拓き、医療や生命科学分野への貢献を目指している。今後も、産学連携を強化しながら、革新的な細胞・分子操作技術の開発に取り組んでいく所存である。（平野 研, 中野 道彦, 大重 真彦, 栗田 弘史）