

誘電泳動法と細菌鋳型膜による選択的捕捉機構の理論解析

Theoretical Analysis of Selective Trapping of Bacteria by Dielectrophoresis and Bacterial Imprinted Film

○田村 守^{1,2}、中田 啓之^{1,3}、床波 志保³、飯田 琢也^{2,*}

(1. 大阪府大院工、2. 大阪府大院理、3. 大阪府大ナノ科学・材料セ)

○Mamoru Tamura^{1,2}, Hiroyuki Nakata^{1,3}, Shiho Tokonami³, Takuya Iida^{2,*}

(1.Grad. Sch. Eng., 2.Grad. Sch. Sci. & 3.N2RC in Osaka Pref. Univ.)

*E-mail: t-iida@p.s.osakafu-u.ac.jp

分子鋳型技術は、ポリマー膜表面にターゲットとなる分子の構造を転写する技術であり、分子認識機構により作製した鋳型にターゲット分子を特異吸着することが可能である。最近の研究により、この技術を用いて、ターゲットとなる細菌の表面構造を転写した「細菌鋳型膜」の作製が可能となった。また、鋳型膜作製に用いた細菌と同形異種の細菌を分散した混合液中で誘電泳動を行うことで、ターゲットの細菌のみを選択的に鋳型膜に捕捉できることが明らかになり、質量測定に基づく高感度な細菌センサへの応用研究が行われている[1,2]。しかしながらその選択的捕捉がどのような物理的機構に基づいて生じるかについては重要課題として残されていた。そこで、本研究では、MHz オーダーの低周波電場による誘電泳動力の下での細菌のダイナミクス及び、鋳型膜による細菌の認識機構をモデル化し、その仕組みを理論的に解析することを目的とした。

ここで誘電泳動力の評価には、振動電磁場が電氣的に中性な物体(ここでは細菌)に及ぼす力の一般的表式を用い[3]、常温の分散液中での媒質分子の衝突による揺らぎや、細菌のランダムな運動を含めて評価できる我々独自の確率的シミュレーション法[4,5]を援用した。図1(a)は、実験で用いた細菌(左)と、作製された細菌鋳型膜(右)を示す走査型電子顕微鏡(SEM)像である。この系のモデル化に当たり、細菌の表面に存在する糖鎖を転写した部位が分子認識機構の起源になっているのではないかと仮定した。この仮定の下、図1(b)に示すようにロッド状の細菌(連結した球状セルでモデル化)の表面に糖鎖を想定した球状セルを複数与え、細菌鋳型膜は細菌のサイズと同程度の穴の中に糖鎖を選択的に認識する分子認識サイトを備えた形でモデル化した。このように、揺らぎによるランダムな運動の下で、外場の効果と分子認識による選択性を取扱える「分子認識メトロポリス法(MRMM)」を構築して前記課題に挑んだ。

次に、この MRMM を用いて得られた結果から得た知見について述べる。まず外場となる交流電場がオフの状態では細菌が膜に捕捉される可能性は非常に低く、交流電場がオンの状態で初めて誘電泳動力により細菌は穴に侵入できることが分かった。加えて、分子認識サイトの配列と対応した糖鎖配列を持つ細菌が膜に入った後に外場をオフにした場合は長いステップの間捕捉されるが、糖鎖配列が異なる細菌を想定した場合は外場をオフにすると速やかに逃げ出すことも分かり、実験と対応した選択的捕捉が起こる可能性を示唆した。得られた結果は、細菌鋳型膜を用いたバイオセンサの高感度化や迅速化のための指導原理構築に役立つと期待される。

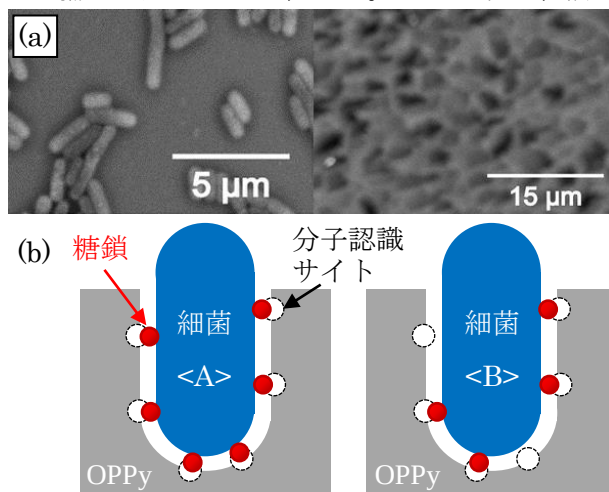


図1: 細菌と細菌鋳型膜の(a)SEM像[1]と(b)計算モデル。細菌は細長い形状をしており、その表面には糖鎖を想定した球を配置している。(a) Reprinted with permission from [1]. Copyright (2013) Americal Chemical Society

[1] S. Tokonami, et al., Anal. Chem. 85, 4925 (2013).

[2] S. Tokonami, T. Iida, H. Shiigi, T. Nagaoka, BUNSEKI KAGAKU (総合論文), 投稿中 (2015).

[3] T. Iida, H. Ishihara, Phys. Rev. B 77, 245319 (2008).

[4] T. Iida, J. Phys. Chem. Lett. 3, 332 (2012).

[5] S. Ito, M. Tamura, S. Tokonami, T. Iida, et al., Sci. Rep. 3, 3047 (2013).