

固体ナノポアにおけるイオン濃度勾配を伴う 1 粒子ダイナミクス

Dynamics of single nanoparticle translocation in solid-state nanopore with salt gradient

阪大産研¹ °(D) 梁 逸偉¹, 筒井 真楠¹, 谷口 正輝¹

SANKEN, Osaka Univ.¹, °Iat Wai Leong¹, Makusu Tsutsui¹, Masateru Taniguchi¹

E-mail: leong.iat.wai32@sanken.osaka-u.ac.jp

ナノスケールの細孔(ナノポア)は、電解質溶液中に物質が制限された空間を通過する際に生じるイオン電流変化を測定するセンサとして用いることができる。しかしながら、高速に細孔を通過する検体を精確に検出するためには、センサの時間分解能に課題があった^[1]。本研究では、ナノポアの上下間にイオン濃度差が存在する電解質溶液を充填することで(図 1a)、ナノポア近傍の電場変化と電気浸透流が可変となり、1 個のナノ粒子の泳動ダイナミクスをコントロール可能であることが分かったため報告する。

濃度差が 5 倍の PBS 溶液を上下に満たし、厚さ 50 nm の窒化シリコンメンブレンに開いた直径 300 nm のナノポアを通るイオン電流を測定した。検体には、直径 200 nm のポリスチレンナノ粒子を用い、イオン電流計測を通して、この粒子が低(高)濃度側から高(低)濃度側に向かってナノポアを通過する過程を観測した(図 1b)。検体粒子を高イオン濃度側か低イオン濃度側のどちらに入れるかによって、粒子検出頻度が 3 倍以上増減したとともに、粒子がナノポアを通過する速度も 30% 以上減少することが分かった。これは、ナノポア近傍で生じる電気浸透流が濃度勾配と電場効果の作用で局所的に増幅されたためと推測できる。この現象を検証ためにマルチフィジックスシミュレーションを行い、ナノ粒子がポア付近で受ける電気泳動力と流体抗力を見積もった。その結果、合力から換算された粒子捕捉半径はイオン濃度勾配に依存することが明らかとなった(図 1c)。また、低アスペクト比ナノポア近傍の濃度勾配と電場効果によって、非対称な電気浸透流が発生しており、これによって検体粒子のポア内の通過時間延長と捕捉率の上昇が可能になることが示された。

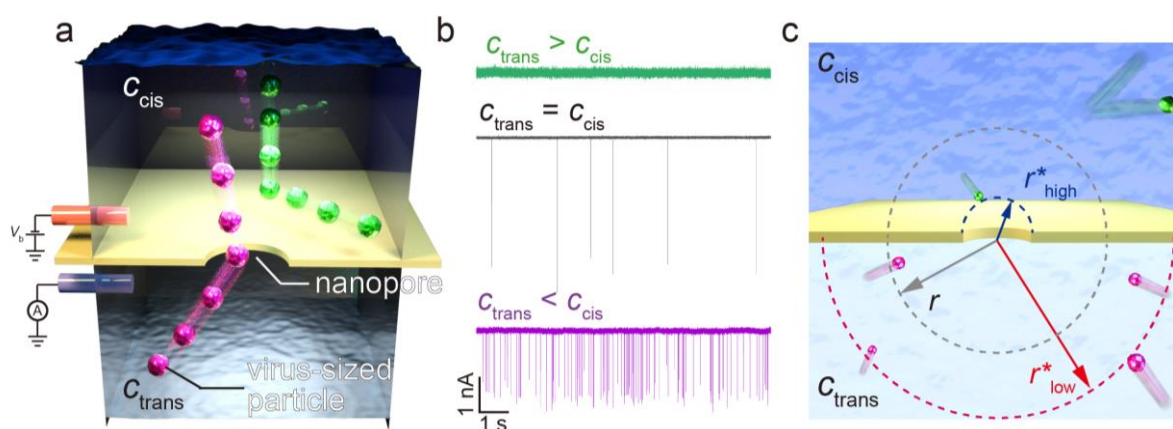


図 1 (a)イオン濃度勾配下におけるナノポアを用いた 1 粒子計測の概念図. (b)ナノ粒子を低濃度(紫)、同濃度(黒)と高濃度(緑)側に入れた場合のイオン電流トレース. (c)イオン濃度勾配に伴うナノ粒子の捕捉半径の増減.

[1] M. Tsutsui et al. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **10**, 40, 34751-34757 (2018)