

SICM による生細胞膜ナノ物性の定量評価

Quantitative evaluation of nanoscale physical properties of the plasma membrane of living cells by scanning ion conductance microscopy

金沢大 WPI-NanoLSI

○渡辺 信嗣

WPI-NanoLSI, Kanazawa Univ.,

°Shinji Watanabe

E-mail: wshinji@se.kanazawa-u.ac.jp

走査型イオン伝導顕微鏡 (SICM) は、ナノ開口を有する微小ガラス電極を探針とする走査プローブ顕微鏡である^[1]。液中試料表面に探針が近接した際にガラス電極から得られる微小電流変化の特性 (アプローチカーブという) を解析することにより、液中のバイオ試料表面の形状・力学的特性・表面電荷密度といった物性をナノ分解能で可視化できる。このような SICM による物性計測は、微小ガラス電極ナノ開口で生じる物理現象が、アプローチカーブとどのように関係しているか考察することによって、ここ数年で大きく発展してきた技術である^[2]。具体的には、探針のナノ開口付近のイオン輸送現象を有限要素法でシミュレーションすることでマクロ電気伝導の振る舞いとして求め、実験データと比較することによって、SICM による物性計測値が定量的に算出される。ここで重要になるのが探針であるガラス電極ナノ開口付近の形状である。ナノ開口の形状と計測されるアプローチカーブ形状は大きな相関があり、ナノ開口の形状決定の精度によって SICM の物性計測の定量性が決まってしまう。また、ナノ開口の形状が不確かであると、マクロ電気伝導の有限要素シミュレーションにおけるフリーパラメタが多くなってしまい、物性計測における定量性の信頼性が大きく損なわれる。従来の研究では、こういったナノ開口形状と物性計測の定量性が十分に議論されてこなかった。その大きな理由の一つは、ナノ開口を簡便に評価できる手法が存在せずに、SICM で得られる実験データと比較することが困難だったためである。我々は最近、この問題を解決できる透過型電子顕微鏡を用いた観察手法を開発^[3]したので報告する。解析の結果、我々の方法 (Figure 1, lower panels) と比較して、従来のナノ開口の評価手法が多くの場合で、電子線によるナノ開口形状の熱変形の効果があり (Figure 1, upper panels)、不適切であ

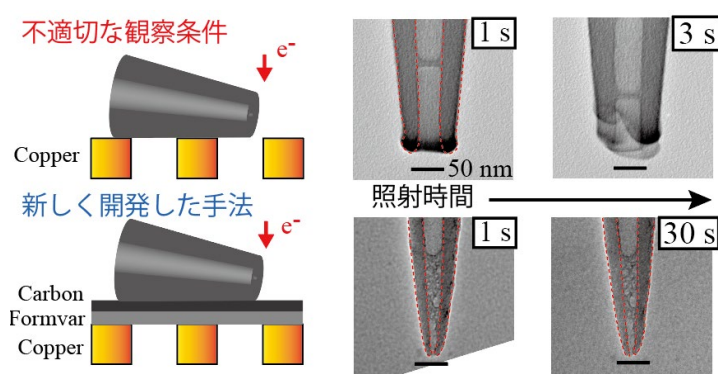


Figure 1: Transmission electron micrograph of SICM probe

あったことが示唆された。講演では、こういったナノ開口形状が SICM の物性計測に与える影響を定量的に議論し、生細胞表面のナノ物性計測を実施した事例をいくつか紹介する。更に、物性計測における物理モデルの詳細も述べる。また可能であれば、従来の SICM の物性計測を高速化する取組についても紹介したい。

References:

- [1] P. K. Hansma, *et al.*, *Science* **243**, 641 (1989).
- [2] J. Rheinlaender & T. E. Schäffer, *Soft matter* **9**, 3230 (2013), D. perry *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **138**, 3152 (2016), K. Cremin *et al.*, *Anal. Chem.* **92**, 16024 (2020).
- [3] K. Shigyou *et al.*, *Anal. Chem.* **92**, 15388 (2020).