

配信先：大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会

2025 年 12 月 19 日

大阪公立大学

ナノ流体デバイス×ナノポアが次世代の分析技術を拓く ～1 分子計測の実用化に向けた新たなロードマップを提示～

<ポイント>

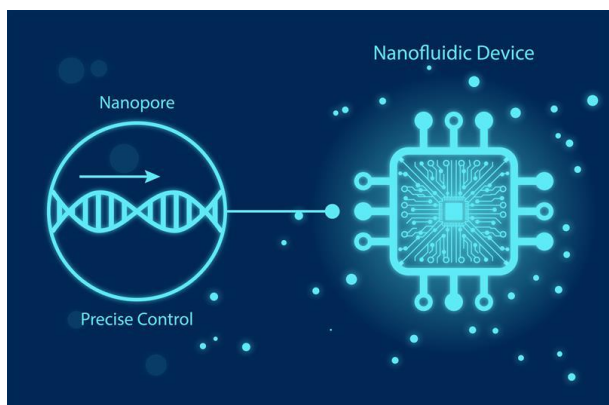
- ◇ナノポア技術はナノメートルサイズの孔を用いて 1 分子ごとの解析が可能な技術で、実用化が進んでいる。
- ◇ナノ流体デバイスはナノメートルサイズの流路をもつ分析チップで、分子の移動速度や流れを精密に制御できる。
- ◇ナノポアを利用した精密測定の実用化にはいくつかの課題があり、その解決にはナノ流体デバイスとの統合が有効と考え、最新の知見を総説論文として発表。

<概要>

ナノポアは、ナノメートル（1 m の 10 億分の 1）サイズの孔（ポア）を通過する DNA やタンパク質などの分子の電流変化を検出して、種類や配列を解析する技術です。実用化も進んでいますが、分子が高速に通過して十分に観察できなかつたり、小さな雑音（ノイズ）が入るなどの課題解決が望まれています。一方、ナノ流体デバイスは、ナノメートルサイズの流路をもつデバイスのことで、液体や分子を狭い空間で制御することが可能です。

ナノ流体デバイスを長年研究している大阪公立大学大学院工学研究科の許 岩教授と、ナノポアを専門としているスイス University of Fribourg の Michael Mayer 教授らの国際共同研究グループは、ナノポア技術の課題解決にはナノ流体デバイスとの統合が有効と考え、最新の知見を総説論文として発表しました。本総説では、ナノポア技術にナノ流体デバイスを取り入れることにより、医療や環境分析に求められる精密な計測性能を実用化レベルに高められると提言しています。また、固体・生体・ハイブリッド型ナノポア、AI 解析、統合技術が、これまでどのように進展してきたかを体系的に整理し、分子の通過速度制御や高スループット化^{*1}の実現につなげる方向性を示しました。

本研究成果は、2025 年 11 月 11 日に国際学術誌「TrAC Trends in Analytical Chemistry」にオンライン掲載されました。



<研究者からのコメント>

ナノポアとナノ流体デバイスの融合は、これまで困難だった“高速・高精度・高感度”測定を同時に実現します。今回の総説は、この新たな研究領域の方向性を示す重要な一歩です。



許 岩教授

＜研究の背景＞

私たちの体の中では、DNA・RNA・タンパク質など、非常に小さな分子が働いています。病気のときには、これらの分子の量や形が変化するため、その分子を正確に調べることは、病気の早期発見や、より良い薬を作ることにつながります。これまでの分析方法では、分子を大量に集めたり、特別な薬品を付けて光らせたりする必要がありました。ところが近年、「ナノポア」という、分子が一つずつ通り抜ける非常に小さな孔を使って、1分子を直接読み取る技術が急速に発展してきました。ナノポアは、DNAなどの分子が通過するときに電流が微量に変わるレジスティブパルスセンシングを利用して、その分子がどのような性質をもつかを調べる仕組みです。1分子DNAシーケンシング^{※2}（塩基配列の読み取り）が既に実用化されており、従来よりも高速かつ低コストで遺伝情報を調べられる方法として大きな注目を集めています。さらに、ペプチドやタンパク質の1分子シーケンシングへの応用も進められており、将来的には体の中から取り出した分子を、平均化せず1分子単位で読み取るような時代が到来すると考えられています。しかし、ナノポア技術には、分子が早く通り過ぎてしまい十分に観察できない、小さな雑音（ノイズ）が入りやすい、分子が孔の周りに付着してしまう、一つの孔だけでは大量のデータを短時間で集められないなどの課題があります。そこで、ナノポアをより使いやすくするための研究が世界で盛んに行われています。

＜研究の内容＞

本研究グループは、ナノポア技術の課題を解決するヒントは、ナノ流体デバイスと組み合わせることにあると考え、最新の知見を総説論文として発表しました。

ナノ流体デバイスは、ナノメートル（1mの10億分の1）サイズの細い通路をチップの中に作り、その中で水や分子の流れをコントロールできる装置です。この装置では、分子が通るスピードをゆるやかにする、ノイズを減らす、分子が壁に付着しないようにする、多くの通路やナノポアを並べて高速に測定することなどを可能にする潜在力を秘めています。つまり、ナノ流体デバイスは、ナノポアがもつ1分子を正確に測る力をさらに生かし、医療や環境分析などの実用レベルに近づけるための次の一手といえる技術です。この分野において、ナノポア単体、ナノ流体デバイス単体の研究は世界中で行われていますが、両者を統合して未来の測定技術を描いた包括的な総説は非常に限られており、本総説はその重要な位置を占めています。

本総説では、固体・生体・ハイブリッド型ナノポアの最新技術、AI解析を含むデータ処理の進展、ナノ流体デバイスとの統合がもたらす突破口を体系的に整理しました。特に、分子の通過速度の精密制御、電気雑音の大幅低減、表面汚染の抑制、自動化された試料処理、多検体同時解析（高スループット化）が実現可能であり、ナノポア技術の実用化を加速する鍵になると結論づけています。また、AI・機械学習による信号解析の高度化が高スループット化をさらに加速すると展望しています。

＜期待される効果・今後の展開＞

本総説で示された技術的方向性は、がんや感染症の超早期診断、血液中バイオマーカー^{※3}の迅速検出、環境中有害物質（PFAS^{※4}等）のモニタリング、精密医療^{※5}の高度化、より高速・高精度なDNAシーケンシング技術の発展、将来的なペプチド・タンパク質の1分子シーケンシング^{※6}の実現のような幅広い分野に新たな可能性をもたらすと期待されます。これらはいずれも、ナノポア技術とナノ流体デバイスの融合により、単一分子レベルでの高速・高精度・高感度な解析が実現することで大きく前進すると考えられます。

本総説は、ナノポア技術を実験室での基礎研究の技術から社会で活用される実用技術へと発展させるための明確なロードマップを提示したものです。医療・健康・環境・食品・創薬など、多様な分野で今後大きなインパクトを生み出すことが期待されます。

<資金情報>

本研究は、科学研究費補助金 学術変革領域研究(A) (課題番号: 21H0523)、基盤 (A) (課題番号: 21H04640)、特別研究員奨励費 (課題番号: 23KF0274、24KF0160)、新学術領域研究 (課題番号: 19H04678)、スイス国立科学財団 (SNSF) (課題番号: 200020_197239; NCCR Bio-Inspired Materials)、アドルフ・メルクル財団 (Adolphe Merkle Foundation)、タイ王国科学技術人材育成・推進プロジェクト (課題番号: DPST532133) の支援を受けて実施しました。

<用語解説>

- ※1 高スループット: 多数の試料を短時間で同時に処理・測定できる能力を指す。診断技術や創薬研究において重要な性能。
- ※2 DNA シーケンシング: DNA の塩基配列 (A、T、G、C の並び) を読み取る技術である。医療、生命科学研究、感染症解析など多様な分野で用いられる。ナノポア技術は高速・低コストなシーケンス法として注目される。
- ※3 バイオマーカー: 病気の存在を示す指標となる物質である。血液や尿に含まれるタンパク質、DNA 断片、代謝物などが例に挙げられる。
- ※4 PFAS: Per- and Polyfluoroalkyl Substances の略称。耐熱性・耐薬品性に優れた人工化学物質の総称であり、環境中で分解されにくいことから「永遠の化学物質」と呼ばれる。環境・健康への影響が国際的に懸念されている。
- ※5 精密医療: 個人の体質・遺伝情報に基づき、最適な治療法や薬剤を選択する医療である。高精度な分子分析技術の発展が不可欠である。
- ※6 ペプチド・タンパク質の 1 分子シーケンシング: ペプチドやタンパク質を構成するアミノ酸の並び (配列) を、1 分子単位で直接読み取る技術。従来の方法では多数の分子をまとめて測定するため情報が平均化されるが、ナノポアなどの単一分子計測技術を利用し、アミノ酸の並び順を 1 分子ごとに識別を可能にする。病気の早期診断や生命現象の理解を飛躍的に高める次世代技術として注目されている。

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 TrAC Trends in Analytical Chemistry (IF: 12.0)

【論文名】 Nanopore Sensing: Current Progress and Future Challenges Tackled by Nanofluidic Devices

【著者】 Wachara Chanakul, Nattapong Chantipmanee, Matthieu Sandell, Rebecca An, Michael Mayer*, Yan Xu*

【掲載 URL】 <https://doi.org/10.1016/j.trac.2025.118541>

【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院工学研究科
教授 許 岩 (しゅう いえん)
TEL: 072-254-7813
E-mail: xuy@omu.ac.jp

【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課
担当: 谷
TEL: 06-6967-1834
E-mail: koho-list@ml.omu.ac.jp