

熱転写プリンタを用いた

3D 流路ペーパー分析デバイスの作製技術

近年、簡易的な分析用基材として紙を用いた分析デバイスが広く研究されている。2007年には紙上に流路を形成した microfluidic paper-based analytical devices (μ PADs)¹⁾が Whitesides らのグループから報告された。操作は試料溶液を数 μ L 滴下するだけで簡単に現場での簡易計測や Point of Care Testing において有望であり、栄養塩等の環境汚染物質の計測、糖尿病患者の自宅診断ツールとしてグルコース濃度測定等様々な分野へ展開されている。 μ PADs の製造方法にはリソグラフィ法、プリント法、切り抜き法等があるが、作製方法の複雑さ等様々な問題から、より容易な製造方法が求められている。

2020年に Fan らは多くのメーカーが市販している熱転写プリンタを利用して μ PADs を製造する方法を報告した²⁾。滑らかな薄い紙に2~4 μ m の厚みでワックスを転写した後、熱によって裏面までワックスを浸透させることで両面に流路が形成される。ただし、印刷する紙は新聞紙程度の薄いものに限定される。2022年には Ishida らが同様の技術を用いて紙の両面に流路を形成した μ PADs を提案した³⁾。インクには顔料を使用しており、以前のワックスインクに比べ浸透する領域が薄いため紙両面から印刷する。それにより表と裏のデザインを変えることが可能になり、1枚の紙内に水平方向および垂直方向の流路を形成して3次元の流路を備えた μ PADs を作製することができる。通常の μ PADs は溶液が漏れ出るのを防ぐため、裏面にテープを貼付ける必要があるが、裏全面にインクを塗布し疎水性にすればその手間も不要である。概略図を図1に示す。この技術によって流路設計の自由度が増し、複雑な反応を用いた μ PADs の開発が期待できる。

μ PADs は軽量・可搬性に優れていることから現場での簡易分析に有用であり、環境分析や臨床検査等の現場

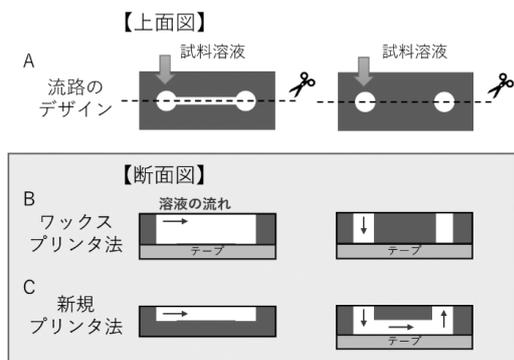


図1 各印刷方法による μ PADs 断面図の例

A: 流路デザイン (上面図), B: ワックス塗布の場合の断面図, C: 新規法³⁾の場合の断面図。

において活用が期待されている。 μ PADs 分析の普及のためには、より低コストで容易に作製できる方法が要求される。製造技術の改善により大量生産、低コスト化が進むことによって発展途上国をはじめとする設備が不十分な地域での容易な定量分析の実現が期待される。

- 1) A. W. Martinez, S. T. Phillips, M. J. Butte, G. M. Whitesides : *Angew. Chem. Int. Ed.*, **46**, 1318 (2007).
- 2) J. Liu, X. Kong, H. Wang, Y. Zhang, Y. Fan : *Microfluid. Nanofluid.*, **24**, 6 (2020).
- 3) T. Monju, M. Hirakawa, S. Kuboyama, R. Saiki, A. Ishida : *Sens. Actuators, B*, **375**, 132886 (2023).

[米子工業高等専門学校総合工学科 梅田 美華]

模擬臓器と CE-ICP-MS を用いた

オンライン・リアルタイム化学形態別分析

キャピラリー電気泳動 (CE) は細いガラス管内に導入された液体試料に高電圧を印加し、物質に固有の電気泳動移動度を利用して分離分析する手法である。CE はその高い分離能により、金属を化学形態別に分けることもでき、誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) と組み合わせることで、高分離能を活かした高感度分析が可能となる。さらに本手法と生体を模倣した装置とを組み合わせた、ほぼリアルタイムでの化学形態別分析が提案されている。

Zhang らは胃の蠕動運動や胃液・唾液の分泌量などを制御可能な3次元モデル (DSM, dynamic stomach model) を作製し、さらに CE-ICP-MS を接続することで、胃の抽出物中に存在するヒ素の化学形態を複雑な前処理無しにそのまま分析できる DSM-CE-ICP-MS を構築した。また、オンラインで遠心分離とろ過を行う機構を設け、ヒ素 (III)、ジメチルアルシニン酸、モノメチルアルシニン酸、およびヒ素 (V) の分離分析を可能とし、得られた検出下限は 0.5~0.9 μ g/L としている。この装置を用いて、食物を介して生体内に取り込まれる懸念のあるマイクロプラスチック (MP) に吸着したヒ素の生体内挙動をリアルタイムで評価した¹⁾。

胃での消化によって pH が低くなると、MP からのヒ素脱着が促進され、無機ヒ素の溶出は有機ヒ素よりも高いこと、一部のヒ素 (V) はヒ素 (III) へ還元されることが明らかとなった。動物性食品と一緒に給餌すると4種すべてのヒ素の溶出は抑制された。しかし、植物性食品と一緒に給餌した場合、2種の無機ヒ素は溶出抑制されるものの、動物性食品のそれよりは抑制率が低く、2種の有機ヒ素に対してはほとんど抑制されなかった。動物性食品はタンパクの一つであるメタロチオネインを含むため、4種のヒ素はこのメタロチオネインに結合することで、溶出が抑制されたと考えられる。

CE-ICP-MS は、上述のようなほぼリアルタイムでの高感度な化学形態別分析にも応用可能で、医療や生体分野のみならず、環境保全や資源循環の分野でも有用であると考えられる。CE と ICP-MS の接続インターフェースの発展とともに、今後の研究に期待する。

- 1) X. Zhang, X-Y Jiang, J-Y. Cai, S. Chen, Y-L. Yu, J-H. Wang : *Anal. Chem.*, **96**, 7155 (2024).

[北海道立総合研究機構 明本 靖広]