

●—— 3D プリンティング技術を用いた PM2.5 のリアルタイム分離・検出

大気中の粒子状物質 (PM), 特に粒子径が 2.5 μm 以下の PM2.5 は, 呼吸器系の奥深くまで侵入し, 肺胞の炎症や心血管疾患などを引き起こすため, 人体に深刻な健康影響を及ぼすことが知られている. そのため, その濃度を正確に監視する技術が不可欠であるが, 現在の主流である光散乱法やテーパー要素振動マイクロバランス (TEOM) 法などの測定法は, それぞれ, 装置が大型かつ高価であることや, 粒子の大きさや化学組成, 周囲の湿度によって測定精度が影響を受けるという課題があった. このような背景のもと, Wang らの研究グループは, 3D プリンティング技術で作製したバーチャルインパクター (VI) と水晶振動子マイクロバランス (QCM) センサーを統合することで, 小型・低コストかつリアルタイムで PM2.5 を分離・検出できる仕組みを開発した¹⁾. VI に吸引された大気中の粒子が, その慣性の違いによって大小に分離される. 慣性の小さい PM2.5 は流れが速く, 横方向に向かう主流の空気の流れに乗って QCM センサーへと導かれ, その電極表面に捕集される. 一方, より大きな粒子は流れが遅く, 直進方向に向かう副流に沿って運搬され, 最終的には系外に排出される. これらの仕組みにより, PM2.5 のみがセンシングされる. QCM センサーは, 付着した PM2.5 の質量に応じて共振周波数が減少するため, この周波数変化を測定することで PM2.5 の質量濃度をリアルタイムに定量できる.

本研究の特筆すべき点は, 計算流体力学 (CFD) シミュレーションを駆使して VI の流路構造を最適化したことである. 流路同士が交わる角度などを精密に設計することで, 粒子の壁面への付着 (ウォールロス) や, 流れを乱す渦の発生を大幅に抑制し, 高い捕集効率と装置の長寿命化を実現している. また, 複雑な流路構造を持つ VI を, 3D プリンティング技術によって一体成形することで, 低コストでの製造と, 組み立て時に生じる誤差の排除を両立させている.

開発されたシステムは, シミュレーション上での設計値 2.5 μm とほぼ近い 2.42 μm のカットオフ径を示し, 実証実験においても市販の測定器と比較して約 7% の誤差で PM2.5 濃度を測定できることが確認された. 将来製品化された際の目標サイズは 5 cm 程度, 目標コストは 100 ドル以下と想定されており, 従来の装置に比べて大幅な小型化・低コスト化が見込まれる. 本技術は, その場での高精度な測定を可能にするため, 個人の健康管理に用いるパーソナルなばく露モニターや, よりきめ細かな大気汚染監視ネットワークへの展開が大いに期待される.

1) Y Wang, V. Mei, Z. Xu, J. Qian : *ACS Omega*, **9**, 5751 (2024).

[日本原子力研究開発機構 坪田 陽一]

●—— 環境・生体試料中マイクロナノプラスチックの抽出と熱分解 GC/MS の定量性

マイクロナノプラスチック (MNP; MP < 5 μm , NP < 1 μm) は, 海洋・河川・土壌などの環境中に蓄積し, 生態系への影響が懸念されている. 更にヒトの各臓器からも検出されており, 体内に侵入した MNPs による健康被害が危惧される. そのため MNPs の環境中及び生体内の定量分析は国内外で注目される一方, 夾雑物や粒径・分子量分布の広さからいまだ困難である. MNPs の一斉分析には, 粒径・分子量分布に依存しない熱分解-ガスクロマトグラフィー/質量分析計 (Py-GC/MS) が汎用されている. そこで本トピックスでは, 土壌・堆積物・汚泥 (環境試料) 及びヒト血液中における 6 種 MNPs (ポリエチレン, PE; ポリプロピレン, PP; ポリスチレン, PS; ポリ塩化ビニル, PVC; ポリエチレンテレフタレート, PET; ポリメタクリル酸メチル, PMMA) の抽出法と Py-GC/MS の定量性について紹介する.

Li ら¹⁾ は, 各環境試料と 5% 水酸化テトラメチルアンモニウムを反応させ, エタノールによる洗浄と遠心分離で有機物を除去した. 残渣は乾燥させ, ジクロロメタン (DCM) と超音波によって MNPs を抽出後, DCM 層を濃縮させて MNPs を定量した. MNPs の回収率は 79.6~91.4%, 検量線は $R^2 \geq 0.97$, 検出限界 (LOD) は 2.3~18.1 $\mu\text{g/g}$ を示した. 各環境試料からは, PMMA 以外の 5 種が 4.6~51.4 $\mu\text{g/g}$ で定量され, 主要な成分は PE と PP であった.

Brits ら²⁾ は, ヒト全血に 0.5% ドデシル硫酸ナトリウムを加えて攪拌後, プロテアーゼ K を加えて更に 1 晩攪拌した. 次に 0.3 と 0.7 μm のフィルターでろ過し, 残渣をエタノールと過酸化水素で洗浄・分解後, フィルターごと切り出し, 乾燥させて MNPs を定量した. MNPs の回収率は 68~109%, 検量線は $R^2 \geq 0.997$, LOD は 31~250 ng/g, 定量限界 (LOQ) は 103~825 ng/g を示した. 全血 64/68 検体で MNPs が検出され, 主要な成分は PE であった. その中で 17 検体は LOQ を超え, PE, PET, PVC が 171~2586 ng/mL で定量された.

両手法は, 環境試料及びヒト血液中 6 種 MNPs の一斉定量に有用であり, MNPs の存在量把握や生体曝露評価の基盤となる. ただし, 6 種以外の MNPs や血液中の 0.3 μm 以下 NPs は未対応であり, これらを含めた手法改良による包括的評価が今後期待される.

1) P. Li, Y. Lai, R. G. Zheng, Q. C. Li, X. Sheng, S. Yu, Z. Hao, Y. Q. Cai, J. Liu : *Environ. Sci. Technol.*, **57**, 12010 (2023).

2) M. Brits, M. J. M. van Velzen, F. Ö. Sefiloglu, L. Scibetta, Q. Groenewoud, J. J. Garcia-Vallejo, A. D. Vethaak, S. H. Brandsma, M. H. Lamoree : *Microplast. Nanoplast.*, **4**, 12 (2024).

[東北大学大学院薬学研究科 幡川 祐資]