

●—— リチウムイオン電池リサイクルのための  
分離技術

リチウムイオン電池 (LIB) は、電化社会におけるエネルギー貯蔵手段として不可欠な蓄電池の主流となっており、カーボンニュートラル実現に向けた鍵となる技術の一つとなっている。LIB の使用用途は、小型電子機器のほかに、自動車の動力源やスマートグリッドのための蓄電装置としての幅広い用途がある。LIB に必要な鉱物資源としては、ベースメタルとしての銅やアルミニウムのほか、レアメタルであるリチウム、コバルト、ニッケルなどがある。この中でもコバルトは特定の地域・国に偏在しているという地政学的なリスクを抱えており、資源循環・資源確保の観点から、廃 LIB のリサイクル技術への関心は高い。

2040 年までに発生する LIB 廃棄物の総量は 800 万トンにもなると推定されており、リサイクル技術の確立を早急に実施しなければならない。使用済み LIB からの正極活物質等の分離回収は、焙焼と物理分離プロセスとの組み合わせによる前処理に始まり、前処理後の酸浸出液からのコバルト、ニッケル等のレアメタルの溶媒抽出法により行われている<sup>1)</sup>。2019 年において、推定 50 万トンの廃棄 LIB から、6 万トンのコバルト、7 万 5 千トンのリチウムなどが回収されている。回収の際には、向流多段のミキサーセトラ型抽出装置が用いられていることが多く、抽出剤としては、 $\beta$ -Hydroxyoxime やアルキルリン酸エステルなどが用いられ、コバルト、ニッケルの相互分離が可能である<sup>2)</sup>。ミキサーセトラ型抽出装置以外にもエマルションフロー法を用いた研究も行われている<sup>3)</sup>。このエマルションフロー法は、マイクロメートルサイズの液滴の噴出によりエマルション状態に至るまで水相と油相を混合すると同時に、単分散に近いエマルションの流れが通過する際、断面積を急激に大きくすることにより 2 液相を分離できる技術である。その他にも、粒状物質を塔内に充填し、その充填塔内を水と油を対向して流すことにより溶媒抽出が完結する技術もある。いずれにしても、日本の、ひいては世界の資源確保と循環型社会の実現に向け、これら技術のさらなる進展に期待したい。

- 1) Z. J. Baum, R. E. Bird, X. Yu, J. Ma : *ACS Energy Letters*, **7**, 712 (2022).
- 2) 芝田単次 : 表面技術, **53**, 641 (2002).
- 3) 永縄 弘 : 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **66**, 797 (2017).

[愛媛大学大学院理工学研究科 山下 浩]

新型コロナウイルス感染症が発生してから病原体の日常的な検出が市民生活にまで浸透した。現在、病原体は、核酸検出検査、抗原検査、抗体検査により検出されている。その中でも核酸検出検査のポリメラーゼ連鎖反応 (polymerase chain reaction, PCR) を用いた方法は、サンプルから核酸を抽出した数  $\mu\text{L}$  の液中に調査対象の病原体 (ターゲットと称する) 由来の核酸が数コピー存在すれば検出できる超高感度な分析法であり、様々な病原体の定量に使われている。しかしながら、核酸抽出液中に有機物が残存していると反応が阻害される、ランニングコストが高い、PCR に 2 時間程度を要するなどの問題がある。この問題を克服する可能性を秘めた、金ナノ粒子 (AuNPs) を用いた核酸の比色分析例を紹介する。この方法では、ターゲットの塩基配列と相補的な DNA (プローブと称する) を用いる。

Heidari らはプローブを結合させた AuNPs (Au プローブと称する) を用いて牛ウイルス性下痢を引き起こすウイルスの RNA を比色分析にて定量した<sup>1)</sup>。この方法では、ターゲットが無い場合、Au プローブは分散状態を維持するのでサンプル溶液は赤色を呈する。一方、ターゲットがある場合、ターゲットを介して Au プローブが近接するのでサンプル溶液は青色に変化する。吸光光度計を用いた場合の検出限界値は 6.83 ng であった。

Karami らはプローブおよびこれと相補的な DNA が結合した AuNPs を用いて、HIV-1 の DNA を比色分析にて定量した<sup>2)</sup>。この方法では、ターゲットが無い時、DNA を結合した AuNPs がプローブにより連続的に結合し、形成された集合体は沈殿する。一方、ターゲットがある時、プローブはターゲットと結合するので DNA を結合した金ナノ粒子は溶液中で分散状態を維持しサンプル溶液は赤色を呈する。肉眼で区別できる下限値は 1.5 pmol であった。

Ge らは、DNA プローブと相補的に結合するヘアピン構造を持つ二つの人工 DNA を用意した<sup>3)</sup>。これらはターゲットと結合する配列を持ち、ターゲットがある場合ハイブリダイゼーション連鎖反応が起きる。その後 DNA プローブを添加すると DNA プローブはターゲットによりお互いに近接するので吸光度が低下する。ターゲットがない場合、DNA プローブは分散状態を保つので高い吸光度が維持される。検出限界値は 4.47 pmol/L であった。

Au プローブを用いてターゲットを増幅せずに定量する比色分析には多様な応用手法が考えられる。本アプローチは分析の時間とコストを低減する可能性を秘めているため今後の発展が期待される。

- 1) Z. Heidari, S. E. Rezatofghi, S. Rastegarzadeh : *BMC Biotechnol.*, **21**, 1 (2021).
- 2) A. Karami, M. Hasani : *Anal. Chim. Acta*, **1102**, 119 (2020).
- 3) L. Ge, Q. Lai, Y. Liu, Z. Tan, P. Zuo, X. Ji, Z. He : *Microchem. J.*, **167**, 106319 (2021).

[北海道大学大学院工学研究院 佐藤 久]