

# マイクロリアクタによる環境負荷低減の実現

## 1. はじめに

マイクロリアクタは、100 $\mu$ m程度の微小流路の中で各種の物質生成を行うためのマイクロ流体デバイスの総称である。マイクロリアクタの中では、高速でかつ均一に原料の混合が起こることにより、従来の攪拌槽バッチ法に比べて、飛躍的なプロセスの革新（反応収率向上、品質向上、連続フロー処理、スピードアップ）が実現する<sup>(1)</sup>。その結果、廃棄物の低減や省エネルギーなどの環境負荷低減が可能となる。さらに、マイクロリアクタを複数個並列化するナンバリングアップにより、短期間に量産プラントを構築することも可能となり、工業的普及が期待されている。

本稿では、マイクロリアクタの特徴とそれを「液相反応」、「ナノ粒子生成」、「乳化」プロセスに適用し、環境負荷低減を実現した事例を紹介する。

## 2. マイクロリアクタの特徴

マイクロリアクタは、従来の攪拌槽バッチ法に比べて、寸法が桁オーダーで小さい。そのため、表面・界面に関連するパラメータである拡散、熱伝達、粘性力、表面張力等の影響が顕著になる。たとえば、流路幅を1mmからその1/10である100 $\mu$ mにすると、2液の混合に要する時間は1/100となり、100倍速く2液を混合することができる。ここで、注目すべき点は、混合に要する時間が流路幅の1乗ではなく、2乗に比例する点であり、寸法効果と呼ばれている。

上記の「高速混合が可能」のほかにも、「精密温度制御が可能」、「プロセス時間制御が容易」、「比表面積が増大する」、「微量化が可能」という特徴がある。

図1は、手のひらに乗る名刺サイズ（50mm×80mm）の代表的なマイクロリアクタである。2種類の原料（A液とB液）が幅100 $\mu$ mの流路を交互に流れる多層流を形成後、縮流部で高速混合を実現する構造を有している。

## 3. 環境負荷低減の具体事例

図2は、図1に示したマイクロリアクタを化成品や医薬品等を対象にした液相反応プロセスに適用して、目的生成物（1置換体）の反応収率が向上した事例である。ブロム化反応では、目的生成物の反応収率が、従来の攪拌槽バッチ法と比較して40%（58%→98%）と飛躍的に向上した。さらに、ニトロ化反応でも目的生成物の反応収率が10%（77%→87%）向上、エステル還元反応でも13%（25%→38%）

の向上を実現した事例である。このような反応収率向上は、混合律速である逐次反応で顕著となる。これはマイクロリアクタの高速混合により、1対1の理想状態に近い反応場が形成されるためである。上記のように、目的生成物の反応収率向上により、廃棄物の低減ができ、環境負荷低減が可能となる。

図3は、電子材料や化粧品等を対象にしたナノ粒子生成プロセスにマイクロリアクタを適用した事例である。硝酸銀と塩化ナトリウムから塩化銀のナノ粒子を生成した場合、生成したナノ粒子の粒径バラツキを表す指標であるCv（coefficient of variation）値は、従来の攪拌槽バッチ法では55.0%であるのに対して、マイクロリアクタでは27.6%に改善されている。したがって、マイクロリアクタの適用で、ナノ粒子が均一に生成されている。

図4は、電子材料や化粧品等を対象にした乳化プロセスにマイクロリアクタを適用した事例である。連続相をアラビアガム水溶液、分散相をシリコンオイルとして、水：シリコンオイル=4：1の条件で、乳化液滴を生成した場合、生成した乳化液滴の平均直径は37 $\mu$ mで、Cv値は6%となり、乳化液滴が均一に生成されている。

ナノ粒子および乳化液滴とも粒径の均一化により、後処理での分級作業が大幅に簡略できる。そのため、廃棄物の低減や省エネルギーという観点から環境負荷低減が可能となる<sup>(2)</sup>。

## 4. おわりに

20世紀には電子デバイスのマイクロ化により真空管がトランジスタに置き換わり、集積度を高めてLSI（Large Scale Integration）に進化した。21世紀は、前述の物質生成プロセスの世界にもマイクロ化の波が押し寄せ、従来の攪拌槽方式バッチ法がマイクロリアクタに置き換わるパラダイムシフトが起こるのではないかと考えている。マイクロリアクタは、従来プロセスを革新しつつ、環境負荷低減を実現するマイクロ流体のキーデバイスであり、社会イノベーション事業として成長する技術である。

（原稿受付 2011年3月23日）  
〔富樫盛典（株）日立製作所〕

### ●文献

- (1) 富樫盛典・遠藤喜重・三宅 亮, マイクロリアクタによるプロセス革新環境負荷低減, (2010), 55-57, 情報機構
- (2) 遠藤喜重・富樫盛典, 化学とマイクロ・ナノシステム研究会誌, 8-2, (2009), 1-7

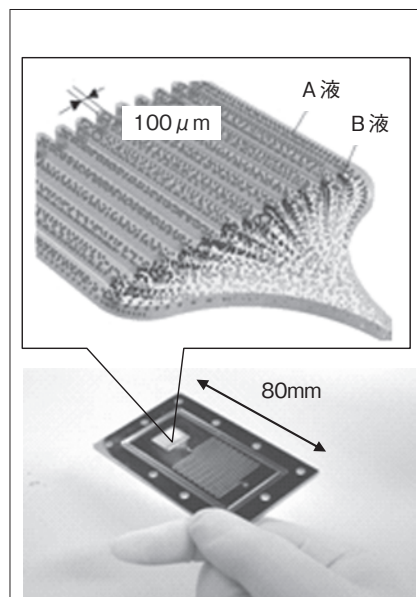


図1 マイクロリアクタ

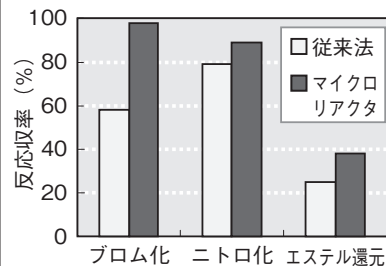


図2 液相反応の収率向上

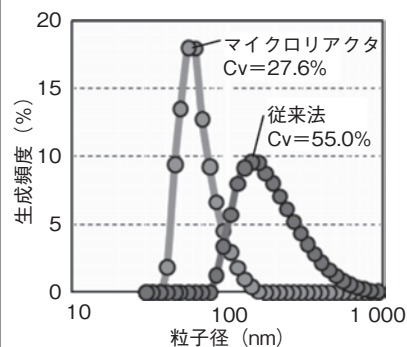


図3 塩化銀ナノ粒子の粒径均一化

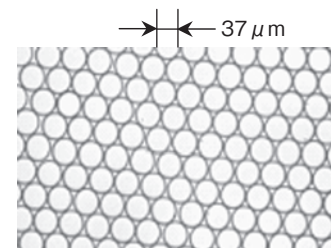


図4 乳化液滴の均一化