

フェムトリアクターによる金属ナノ粒子分散液の合成

脇坂昭弘^{*,†}

^{*}国立研究開発法人産業技術総合研究所環境管理研究部門反応場設計研究グループ 茨城県つくば市小野川16-1 (〒305-8569)

[†] Corresponding Author, E-mail: akihiro-wakisaka@aist.go.jp

(2016年5月30日受付, 2016年6月13日受理)

要 旨

フェムトリアクターは、エレクトロスプレー法によって、液体を直径数 μm (体積フェムトリットル (10^{-15} L) レベル) の極微小液滴に微細化し、極微小液滴で化学プロセスを制御するスマートな技術である。高速で二液を混合し、生成物を高速で安定化することができるため、金属ナノ粒子の液相合成法に適用すると、シングルナノサイズで粒径分布幅の狭い金属ナノ粒子の合成が可能となる。とくに液中でエレクトロスプレーを制御することにより、多様な用途への応用が可能になった。

キーワード：フェムトリアクター、エレクトロスプレー、ナノ粒子

1. はじめに

金属ナノ粒子分散液は、プリントドエレクトロニクス分野の導電加工用インク、排ガス処理や化学反応用触媒、バイオ医薬への応用、記録材料への応用など、多様な用途開発が進められている。いずれの応用分野においても、シングルナノサイズで粒径分布幅の狭いナノ粒子の合成法が求められている。金属ナノ粒子の合成法は、大きく分けると、気相でプラズマやレーザー照射により金属を蒸発させて合成する手法と、液相で金属イオンを化学的に還元してナノ粒子を合成する方法に分けられる。生成効率や合成装置の観点から量産化手法としては液相法が優れていると考えられる。

液相法で金属ナノ粒子の粒子径を小さく、粒径分布幅を狭くするためには、以下の2点を達成することが必要である。一つは、金属イオン溶液と還元剤溶液を短時間で混合すること、もう一つは、生成した金属ナノ粒子を素早く分離・安定化して凝集を抑制することである。この二液混合速度と分離抽出速度を大きくするためには、液体の体積をできる限り小さくすることが効果的である。このため、細管内で液体を混合するマイクロリアクター技術を適用した金属ナノ粒子合成法が提案されているが、反応生成物による閉塞や粘性による効率低下の問題のため、実用化には至っていない。これらの問題を解決できる新たな金属ナノ粒子分散液合成法としてフェムトリアクターの研究開発を行っている。本解説ではその基本原理と、金属ナノ粒子

分散液の合成への適用例について紹介する。

2. フェムトリアクターの基本設計

フェムトリアクターは、エレクトロスプレー法を用いて液体を帯電した微小液滴に微粒化し、それらの移動を電場によって制御することにより、フェムトリットル (10^{-15} L) レベルの微小液滴内で化学反応を制御する技術である。ここでは、フェムトリアクターの基礎となるエレクトロスプレーとフェムトリアクターの基本設計について解説する。

2.1 基本となるエレクトロスプレー

基本的なエレクトロスプレーは、図-1のように、送液ノズルと対向電極間に高電場を形成して、液体試料を送液ノズルから高電場中に導入することによって構成することができる。このとき液体試料は帯電した直径1マイクロメートル程度 (体積0.5フェムトリットル) の液滴に断片化され、電場に沿って送液ノズルから対向電極に向かって移動するエレクトロスプレー現象が起こる。図-1ではノズルに正電位を印可しているため液滴は正電荷を帯びている。

2.2 気中フェムトリアクター¹⁾

図-1のようにエレクトロスプレーでは電荷を帯びた液滴の動きを電場で制御することができる。そこで、正電位を印可したノズルと、負電位を印可したノズルを図-2のように対向させることにより、正・負に帯電した液滴を各ノズルから発生させて、ノズル間のラクビーボール状の電場内で、正・負荷電液滴間の衝突・混合を起こすことができる。これによりフェムトリットルスケールで二液の混合が可能な反応場を設計することができる。

2.3 液中フェムトリアクター²⁾

図-2に示した気中フェムトリアクターを金属ナノ粒子の合成反応系に用いると、気中への飛散による効率低下が問題となった。そのため液中エレクトロスプレーを用いたフェムトリアクターを開発した。図-3のように、誘電率の低い液体中でエレ



〔氏名〕 わきさか あきひろ
 〔現職〕 国立研究開発法人産業技術総合研究所環境管理研究部門反応場設計研究グループ 研究グループ長
 〔趣味〕 ガーデニング、筑波山散策、料理
 〔経歴〕 1983年筑波大学第1学群自然科学類卒業。1988年筑波大学大学院博士課程化学研究科修了(理学博士)。1989年通産省工業技術院公害資源研究所研究員。2001年独立行政法人産業技術総合研究所へ組織変更。2006年より現職。2015年国立研究開発法人産業技術総合研究所へ組織変更。専門：物理化学、溶液化学。