

「ファインバブルを鋳型とした環境調和型ナノバルーンの調製法の確立」

有明高専創造工学科 大河平紀司、石川元人
中島物産株式会社 中島康宏

Nobuaki Tominaga, Tadashi Okobira (National Institute of Technology, Ariake College)
Yasuhiro Nakashima (Nakashimabussan Co., Ltd.)

1. はじめに

ファインバブル (FB) とは微小な気体の総称であり、液体内を非常にゆっくり上昇し収縮して消滅する「マイクロバブル」(粒子径約 1~100 μm) と、マイクロバブルより溶解発生し液中に最大 6 ヶ月以上停滞しブラウン運動だけを行う粒子径 1 μm 以下の「ウルトラファインバブル (UFB)」に分けられる。この FB の特異的な性質の一つである表面電位特性として、FB は表面が負電荷を帯びていることが報告されている。

本研究では、FB の表面電位特性に着目し、Layer by Layer (LbL) 法および架橋法を用いてポリマーでバブルをコーティングすることで、FB を集合体の中に閉じ込めた新規中空マイクロカプセル「ナノバルーン」の作製を目的とした。従来の中空マイクロカプセルの作製には固体や液体を芯物質としてカプセルを生成し、その後、新物質を蒸発させて中空にする方法や同様のマイクロカプセルを熱膨張させて生成する方法などがある。しかし、それには芯物質を除去するプロセスや加熱が必要になるなど時間やコストがかかる点や、粒径の小さなカプセルを作るのが困難などの課題が挙げられる。そこで、内部に空気を封入した Air-UFB を芯物質として

カプセルを作製することができれば、前述した課題である芯物質の除去や加熱が不要であり、さらには粒径の小さなマイクロ/ナノオーダーのカプセルの開発が可能になると着想した。

LbL 法とは、正電荷と負電荷の間に働く静電相互作用により、イオン性ポリマーを連続的に吸着させる方法をいう。この方法により、バブルの表面をコーティングし、さらに将来的には化学修飾を施す手法であり、機能性ナノバルーン形成への応用が期待される。先行研究により、ナノバルーン形成に影響する因子として、ナノバルーンの径は、もともとのバブル径に依存し、コーティングに用いる物質やその物質の分子量、ナノバルーン形成後の放置時間を変えることで制御できることが示唆されている。そこで本研究では、ナノバルーンの実用化を目指し、Layer by Layer 法および架橋法によるナノバルーン形成に関する知見の集積および生体適合性の良い物質を用いた環境調和型ナノバルーンの作製基礎技術の確立を目的とした。

2. 実験方法

空気を内包した UFB 水 ((株) ナノクスより購入) をバイアルに 1 mL 採取し、任意の濃度に

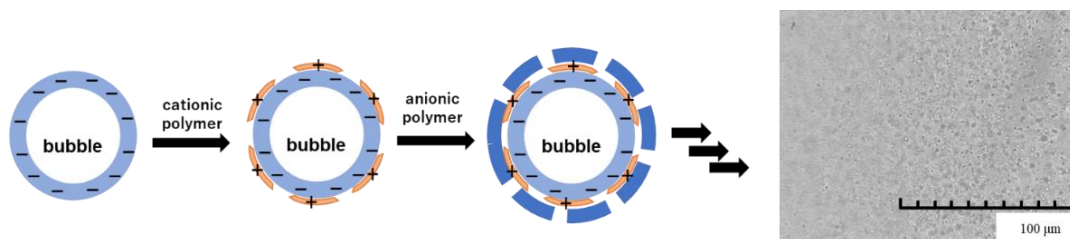


図1 Layer by Layer 法によるナノバルーン調製イメージ

調整したカチオン性試薬 40 μL を加え、pH を調整した。その後、アニオン性試薬 40 μL を加え、1 分間攪拌を行った。この混合溶液 20 μL を 1 分以内にスライドガラス上に滴下した後、作製した分子集合体を光学顕微鏡、動的光散乱 (DLS)、クライオ透過型電子顕微鏡 (Cryo-TEM) にてサイズ、形、数等を観察した。

3. 結果と考察

本研究では生体適合性の高い物質として分子量 18 万のゼラチンを採用した。ゼラチンは人体に無害であり体内で吸収されるポリペプチドであるため生体適合性に優れていると判断した。本研究で採用したゼラチンの等電点は pH 5 であり、溶液の pH を調整することによってカチオン性試薬とアニオン性試薬の両方で利用可能である。初めに、カチオン性試薬にゼラチンを、アニオン性試薬にはすでにマイクロバルーンを形成可能なポリスチレンスルホン酸 (PSS) を使用して LbL 法によってナノバルーンを作製した結果、ブランク試験として溶媒に純水を用いた場合には像を確認することが出来なかったが、UFB を使用するとおよそ 6~7 μm の粒径をもつマイクロバルーンの存在が観測された (図 2)。

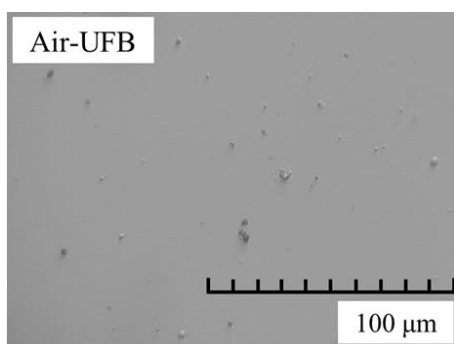


図 2 光学顕微鏡にて観察したゼラチンと PSS で形成したマイクロバルーン像

このゼラチン-PSS 粒子を DLS にて測定した結果、約 200~900 nm にかけて強いピークが見られ、光学顕微鏡では観察できなかったナノオー

ダーの粒子の存在が確認された (図 3)。また、6~7 μm あたりにもピークが見られたことから光学顕微鏡で観察できたマイクロバルーンはこのピーク由来のものであることが示唆された。

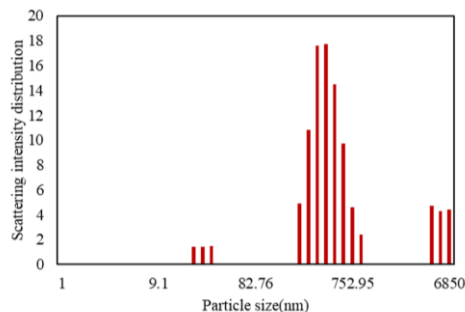


図 3 ゼラチン-PSS 粒子の DLS 測定結果

さらに、作製した粒子の内部構造の解析を目的に Cryo-TEM による観察を行った結果、約 200~600 nm の像が確認できた (図 4)。また、1 つの粒子の中に複数の粒子が入り込んでいるような像が見られた。既往の研究より、LbL 法によって作製した粒子は時間経過とともに粒径が成長することが示唆されている。従って、本 TEM 像では小さな粒子同士が併合することで 1 つの大きな粒子に成長する過程が確認できたと考えられるが詳細は未解明である。

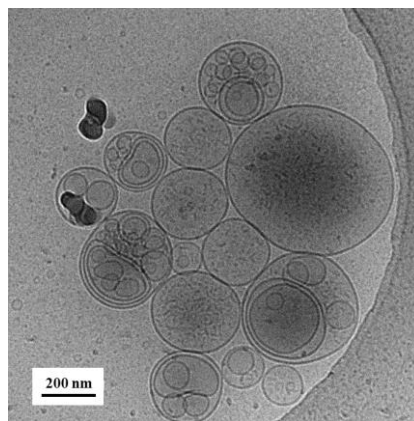


図 4 ゼラチン-PSS 粒子の Cryo-TEM 像

【謝辞】

本研究は、有明広域産業技術振興会令和 5 年度地場産業振興支援研究によりご支援を頂きました。ここに記し深甚なる感謝の意を表します。