

機能性ヒドロゲル微粒子の界面挙動を活用した材料創成

川本 嵩久*・湊 遥香*・鈴木 大介*,**,†

*信州大学繊維学部 長野県上田市常田3-15-1 (〒386-8567)

**信州大学先鋭材料研究所 長野県上田市常田3-15-1 (〒386-8567)

† Corresponding Author, E-mail: d_suzuki@shinshu-u.ac.jp

(2022年11月3日受付, 2022年11月18日受理)

要 旨

ヒドロゲル微粒子は、水を良溶媒とする高分子三次元架橋体が大きき数百ナノメートル程度のコロイド粒子であり、ゲルとコロイド粒子の特徴を兼ね備える。固体粒子とは異なり、水で膨潤した柔らかいゲル微粒子は、気水表面において大きく変形することで自発的に吸着し、エマルションや泡の安定化剤、コーティング剤などの応用に期待されている。本稿では、ゲル微粒子に特徴的な界面挙動を活かした機能性高分子材料について解説する。

キーワード：ヒドロゲル微粒子, コロイド結晶, エマルション, 泡, 自己組織化

1. 緒 言

(ヒドロ)ゲル微粒子は、水を良溶媒とする高分子ネットワークを有し、大きさが数十nmから数 μm 程度の高分子微粒子である¹⁾。その含水率は約90%であり、粒子体積の大半が水が占める。したがって、ポリスチレンやシリカから構成される硬質な微粒子とは異なり、ゲル微粒子は柔らかく水中で変形することが大きな特徴の一つである。さらに、ゲル微粒子を構成する化学種によっては、外部環境のpHや温度変化等に応答し、微粒子の膨潤状態や、表面の帯電状態等を可逆的に制御できる魅力を有する。そのため、ゲル微粒子は化粧品や食品、塗料や電子部品、触媒やアクチュエータ、薬物運搬担体やバイオセンサーなどの広範な分野への応用が期待されている。

最近では、サイズの揃った粒子が一度に大量に得られるという点から、ゲル微粒子の合成には水系沈殿重合法が用いられる場合が多い。沈殿重合では、水に溶解した水溶性モノマーが重合の進行とともにポリマーとして析出し、それらグロビュール鎖が互いに会合することで微粒子を形成する²⁾。そのため、一般的にはゲル微粒子は熱力学的に安定な球として水中に分散していると考えられている。一方、界面においては、ゲル微粒子は素早く界面を覆うように形状を大きく変形させる³⁾。

本稿では、ゲル微粒子に関し、著者らが明らかにしてきたゲ

ル微粒子の界面挙動や、機能性高分子材料への展開について解説する。

2. ゲル微粒子の界面吸着挙動

温度応答性ポリマーとしてよく知られるpoly(*N*-isopropylacrylamide) (pNIPAm) は、界面活性性能を有する。このようなポリマー鎖からなるゲル微粒子は、水と気体や、水と油の界面に自発的に吸着する。冒頭でも紹介したように、ゲル微粒子は水中で膨潤しているため、界面に吸着した際にはバルク中とは異なる形態へと変形する。一般に、コロイド粒子は低分子界面活性剤よりも大きな吸着エネルギーを有することが知られている^{4,5)}。コロイド粒子の中でも、界面において大きく変形するゲル微粒子は、少ない重量分率で界面を安定化する新しい機能性界面安定化剤として注目を集めている。

ゲル微粒子が界面において変形することは推測されていたものの、重量分率が低く、顕微鏡による可視化がきわめて難しいため、長い間、単一ゲル微粒子の変形を定量的に議論されることはなかった。そこで著者らは、重合温度を昇温させながら沈殿重合を実施することで粒子核を可能な限り大きくし、続いてシリンジポンプを活用してモノマーを連続的に補給する独自の微粒子合成技術により、従来の水系沈殿重合法では達成できなかった巨大なゲル微粒子を得ることに成功した³⁾。この技術によって得られたゲル微粒子を活用し、気水表面に対してゲル微粒子が吸着する瞬間を、蛍光顕微鏡を通じて観察した。pNIPAmの界面活性により、ゲル微粒子は界面でより大きな領域を占有して界面の自由エネルギーを減少させるように、吸着する。ここでは、液中では約7 μm のゲル微粒子が、気水表面に衝突・吸着して大きく変形する様子を初めて捉えることに成功した(図-1)。吸着開始後、徐々にゲル微粒子の吸着面積が増加し、1秒程度の間に約20 μm まで直径が大きくなった。このことは、バルク中の粒子径と比較し、大きく変形しているこ



〔氏名〕 かわもと たかひさ
〔現職〕 信州大学繊維学部 修士1年
〔趣味〕 ダイビング, 旅行, コーヒー
〔経歴〕 信州大学大学院総合理工学研究所(2023年～)。

【図表について】電子ジャーナルサイト「J-STAGE」ではカラーでご覧いただけます。https://www.jstage.jst.go.jp/browse/shikizai-char/ja/