

混合溶媒中のコロイド分散系のレオロジー

(京都大学理学研究科¹・ENS-Paris²) 荒木 武昭¹・Armand Barbot^{1,2}

【はじめに】

コロイド分散系のレオロジーは、粒子濃度、粒子間相互作用、せん断速度などに依存することはよく知られている。濃度が希薄で、また粒子間相互作用が弱ければ、分散系の実効的な粘性率はアインシュタイン則に従うが、濃度が高くなると、相互作用に依存して、ゲル化したりガラス化したりする。濃度が一定であっても、粒子間相互作用を制御することで、コロイドの分散状態、凝集状態が変化し、その結果、系全体のレオロジーも変化する。最もよく用いられている相互作用の制御は、荷電コロイドに対する塩の添加であろう。塩を添加することで、粒子間の静電斥力が遮蔽され、粒子は凝集し、粘性率は上昇する。しかしながら、分散系から脱塩し、静電斥力を強めることは長い時間を要し、実用上、不可逆的な操作である。一方、近年、二成分混合溶媒中のコロイド粒子間に働く実効的な相互作用について、活発な研究がなされてきた。粒子表面に対し、混合溶媒の2種類の親和性が異なっていれば、表面近傍で濃度揺らぎが誘起され、その濃度揺らぎが重なりあうことで、粒子間に実効的な引力が生じ、その強度は組成比や温度によって容易に制御することができる。我々は、この実効的な相互作用がコロイドのレオロジーに大きな影響を及ぼすと考え、流体粒子ダイナミクス法を用い、混合溶媒中のコロイド分散系の流動挙動を調べた。

【結果と考察】

図1は、粒子の体積分率13%の懸濁液における粒子の分布のスナップショットである。混合溶媒の組成比は $\phi = 0.35$ とし、平衡化させるため、粒子ごとにランダムな力を与えている。図1(a)は、共存曲線から離れた系を示し、図(b)は、その構造を示している。図1(a)では、粒子はよく分散しており、これは粒子間の相互作用が熱揺らぎに対し、弱いためである。一方、図2(b)では、複数の粒子が凝集し、クラスターを形成している。クラスターの中では、粒子表面と親和性の高い成分の組成比が高くなっており、局所的に相分離が誘起されていることがわかる。

次に、系にせん断流動を与え、粘弾性挙動を調べた。系が相分離点に近づくと、実効的な粘性率が大きく増大する。これは、濃度揺らぎに由来する実効的な相互作用が強くなると、コロイド粒子がクラスターを形成し、流れにくくなったことに拠る。また、この状態でせん断速度を増加させると、粘性率が減少することも分かった。粘性の減少が起こる特徴的なせん断速度で、粒子間の周りの濃度場を調べたところ、せん断が小さい場合と比べて大きな違いはなく、粒子間相互作用は等方的なままとみなせることが示された。

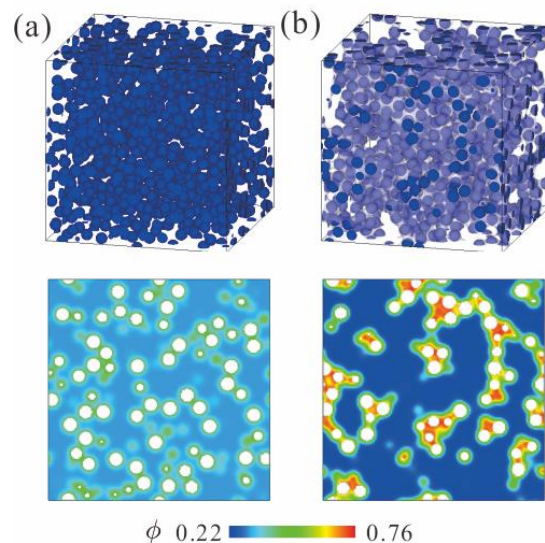


図 1. コロイド分散系のスナップショット。(a)は相分離点から離れた点、(b)は相分離点近傍の状態である。上図は3次元での粒子分布を表し、下図は、断面の濃度分布を表している。コロイドの体積分率は13%。

【参考文献】

- (1) A. Barbot and T. Araki, *Soft Matter* (in press, 2017) DOI: 10.1039/C7SM00861A