

超臨界水が示す特異な性質を利用した“魔法”のナノ乳化技術

木下圭剛*・出口 茂*†

* 国立研究開発法人海洋研究開発機構海洋生命理工学研究開発センター 神奈川県横須賀市夏島町2番地15 (〒237-0061)

† Corresponding Author, E-mail: shigeru.deguchi@jamstec.go.jp

(2015年2月27日受付, 2015年3月18日受理)

要 旨

超臨界水 ($T_c=374^\circ\text{C}$, $P_c=22.1\text{ MPa}$) は, 常温・常圧の水とは著しく異なる性質を示す。本稿では, 超臨界水が油と自由に相溶する特異な性質からわれわれが独自に着想した, まったく新しい原理に基づくナノ乳化技術について解説する。MAGIQ (Monodisperse nAnodroplet Generation In Quenched hydrothermal solution) と呼称する本手法は, 超臨界水/ドデカンの均一溶液を室温まで急冷することにより, ボトムアップで油滴の形成を誘起し, 油滴サイズ約60 nmのナノエマルジョンをわずか10秒で調製できる。

キーワード: ナノ乳化, 超臨界水, ボトムアップ法

1. 緒 言

水中に油を (または油中に水を) 微細な液滴として分散させた乳化物 (エマルジョン) は, 化粧品・塗料・インク・食品・医薬品・農業・化学・石油など, 幅広い産業分野において基盤技術として古くより利用されている。最近では, ナノテクノロジーの潮流が乳化技術にも拡大し始めており, 油滴サイズをナノオーダーまで微小化したナノエマルジョンが注目を集めている^{1,2)}。ナノエマルジョンは油滴サイズが小さく光の散乱が抑制されるため, 透明あるいは半透明な外観を呈する。また, 油滴サイズの小ささから, 通常のエマルジョンとは異なる機能の発現が期待され, 機能性化粧品やドラッグデリバリーシステム, 油滴内部での化学反応 (ナノリアクター) など, 最先端技術への応用が検討されている。

乳化作業において最も一般的に用いられている手法は, 攪拌や超音波などの機械的エネルギーを外部から印加することで, 粗大な油滴を引きちぎり, 順次油滴サイズを小さくする“トップダウン法”である。しかしながら, 油滴内外の圧力差 (ラ

ラス圧) は油滴サイズに反比例して増大するため, 微細化にともないきわめて大きなエネルギーが必要となり, トップダウン法で効率良くナノエマルジョンを調製することは困難であった。大きな機械的エネルギーを用いることなくナノエマルジョンを調製する手法として, 転相温度乳化法 (PIT法)¹⁾ などが考案されているが, 適用できる油や乳化剤の種類・組成に制限が多く, 汎用的かつ簡便な方法が求められている。

一方, ナノテクノロジーにおいては, “ボトムアップ法”も重要な技術である。たとえば金属ナノ粒子 (固体粒子) の合成では, 構成原子やイオンを含む均一な溶液を調製後, 化学反応や再結晶により析出・沈殿させることでナノ粒子を得る。油/水の乳化にもボトムアップ法を適用することができれば, ナノエマルジョンを容易に調製できると考えられるが, そのためには本来混ざり合わない水と油を均一に溶解させるという課題を解決する必要がある。

筆者らの研究グループでは, 高温・高圧の極限環境 (超臨界状態や亜臨界状態) であらわれる水の特異な物性や, 高温・高圧水中での物質の振る舞いなどに着目した物理・化学研究を進めてきた³⁾。水の物性は, 温度・圧力に依存して大きく変化する。たとえば比誘電率に着目すると, 常温・常圧の水では約80と高い値を示すのに対して, 超臨界状態では典型的な油と同等の2~3程度まで低下する。その結果, 超臨界水はさまざまな油と自由に相溶する⁴⁾。この現象を実際に確認するため, ドデカンの水分散液を高温・高圧状態に保持したまま光学顕微鏡にて直接観察を行った (Fig. 1)。ドデカンの油滴は332°Cまで加熱しても大きな変化は見られないが, さらに加熱を続けることで, 油滴は徐々に小さくなった。最終的には, 337°Cで油滴が完全に消失し, ドデカンと水が分子レベルで混ざり合った均一な水溶液が得られた。この現象は可逆的で, 溶液の温度を下げることによりドデカン水中で相分離し油滴を形成した (Fig. 1e, f)。この知見をもとに, 筆者らはボトムアップの乳化技術を着想した⁵⁾。



〔氏名〕 きのした けいご
〔現職〕 国立研究開発法人海洋研究開発機構海洋生命理工学研究開発センター ポストドクトラル研究員
〔趣味〕 スポーツ観戦 (とくに相撲とF1)
〔経歴〕 2010年, 神戸大学大学院工学研究科, 博士前期課程早期修了。2013年, 神戸大学大学院工学研究科, 博士後期課程早期修了, 博士 (工学)。同年, 国立研究開発法人海洋研究開発機構海洋・極限環境生物圏領域ポストドクトラル研究員。2014年より現職。



〔氏名〕 でぐち しげる
〔現職〕 国立研究開発法人海洋研究開発機構海洋生命理工学研究開発センター長
〔経歴〕 1996年, 京都大学大学院工学研究科 高分子化学専攻 博士課程単位認定退学/博士 (工学)。1997年, 科学技術振興事業団 長期在外若手研究員 (スウェーデン, ルント大学)。1999年, 海洋科学技術センター (現海洋研究開発機構) 深海環境フロンティア研究員。グループリーダー, チームリーダーなどを経て2014年より現職。